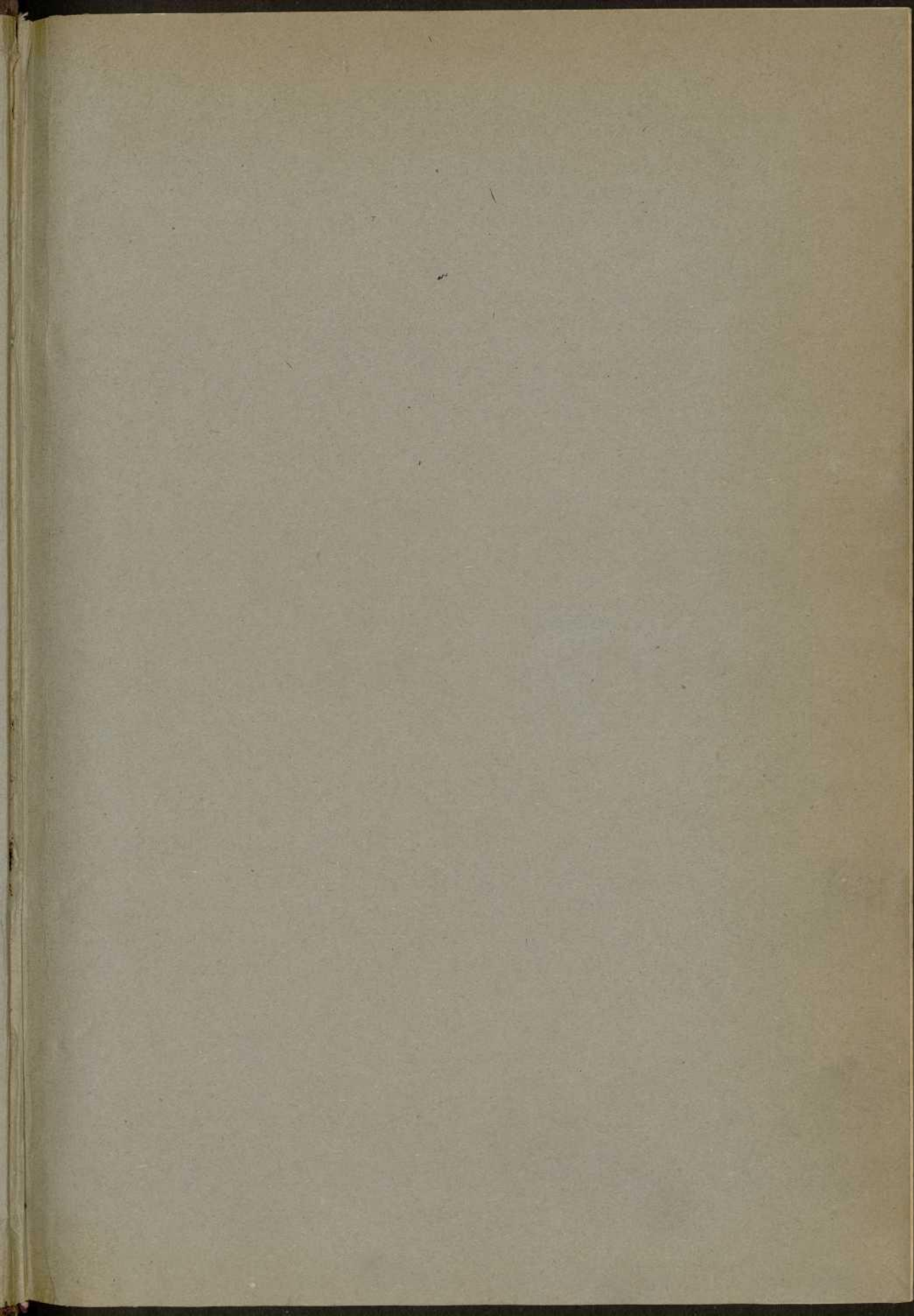
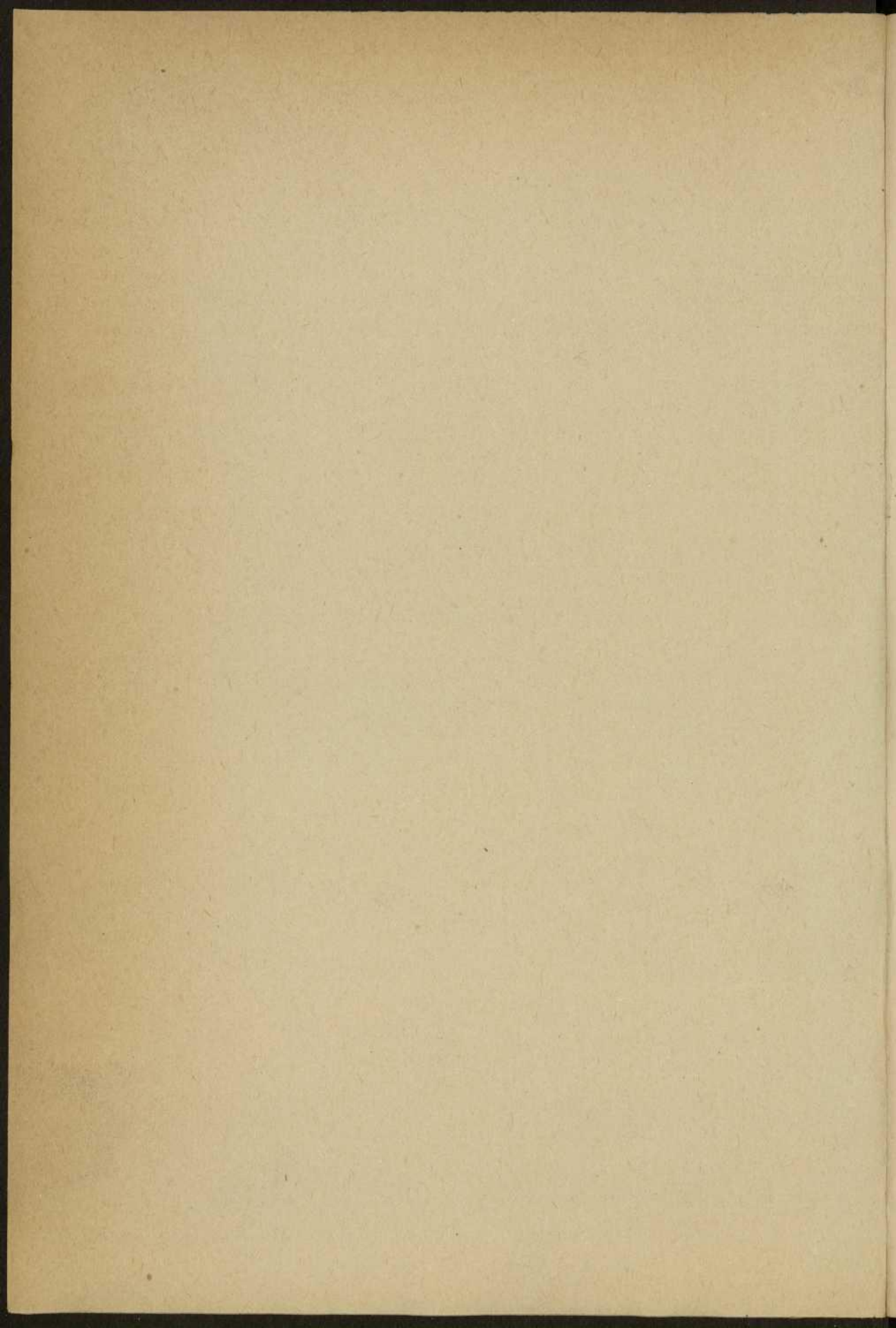


18119

~~1111~~

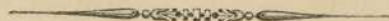




TRATADO

DE LA FORMACION

DE LOS PROYECTOS DE CARRETERAS.



TRATADO

DE LA PUNTA

DE LOS PROYECTOS DE CARRETERAS

TRATADO

DE LOS PROYECTOS DE CARRETERAS

DE LOS PROYECTOS DE CARRETERAS

DE LOS PROYECTOS DE CARRETERAS



1900

DE LOS PROYECTOS DE CARRETERAS

1900

ge

TRATADO

DE LA FORMACION

DE LOS PROYECTOS DE CARRETERAS,

POR

EL INGENIERO JEFE DE SEGUNDA CLASE DEL CUERPO NACIONAL

DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DON MAURICIO GARRAN.

APROBADO Y MANDADO PUBLICAR POR REAL ORDEN DE 21 DE SEPTIEMBRE DE 1862.



MADRID.

IMPRENTA DE LA REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.

DE LA VIUDA DE D. J. C. DE LA PEÑA, ATOCHA, 149.

1862.

1877

THE FIRST OF THE YEAR

THE FIRST OF THE YEAR

THE FIRST OF THE YEAR

THE FIRST OF THE YEAR

THE FIRST OF THE YEAR

THE FIRST OF THE YEAR

THE FIRST OF THE YEAR

THE FIRST OF THE YEAR

THE FIRST OF THE YEAR

THE FIRST OF THE YEAR

THE FIRST OF THE YEAR

THE FIRST OF THE YEAR

THE FIRST OF THE YEAR

THE FIRST OF THE YEAR

THE FIRST OF THE YEAR

ÍNDICE.

	Páginas.
PRÓLOGO.	I
INTRODUCCION.. . . .	V
OBJETO DEL TRATADO.	1

PRIMERA PARTE.

Consideraciones generales.

CAPITULO I. CONDICIONES GENERALES Á QUE DEBE SATISFACER	
UN TRAZADO.	3
Condiciones estratégicas ó militares.	4
Condiciones administrativas y comerciales.	5
CAPITULO II. CONDICIONES TÉCNICAS Ó FACULTATIVAS. . . .	11
Límite de las pendientes.	14
Influencia de las pendientes.	17
Pendientes accidentales en terreno llano.. . . .	20
Influencia de las curvas.	25
Límite de las curvas.	25
Condiciones de un buen trazado.	26

SEGUNDA PARTE.

	Páginas.
Trabajos de campo.	27
CAPITULO I. RECONOCIMIENTOS.	29
Configuracion general del terreno.. . . .	50
Relacion entre las divisorias y talwegs.	51
Puntos singulares.. . . .	52
Modo de practicar los reconocimientos.	56
Fijacion aproximada de la direccion del trazado. . . .	41
Terreno llano.	41
Terreno accidentado.	42
CAPITULO II. OPERACIONES TOPOGRÁFICAS.	49
Condiciones generales.	49
Trazado práctico de alineaciones rectas.	50
Trazado de las curvas sobre el terreno.	51
Curvas circulares.	51
Id. parabólicas.	56
Id. arbitrarias.	57
Descripcion detallada y práctica de las operaciones to- pográficas.—En terreno llano.	58
Nivelacion.	59
Orden en los trabajos.. . . .	61
Libretas.. . . .	62
Levantamiento de planos.	67
Trazado en terrenos accidentados.	67
Detalles y precauciones.	70
Zik-zaks y desarrollos del trazado.	72
Casos especiales de trazado.. . . .	75
Observaciones y datos que deben adquirirse.	74

TERCERA PARTE.

	Páginas.
Trabajos de gabinete.	77
CAPITULO I. PLANOS Y PERFILES.	79
Perfil longitudinal.	81
Perfiles trasversales.	84
Trazado horizontal.	84
Determinacion del trazado sobre un plano detallado del terreno.	85
Trazado vertical.—Rasantes.	88
Cálculo de la inclinacion de las rasantes y de las cotas.	91
Determinacion de los puntos y líneas de paso.	95
Caso especial y muros de sostenimiento.	97
CAPITULO II. OBRAS DE FÁBRICA.	99
Badenes.. . . .	100
Tajeas y alcantarillas.. . . .	102
Pontones y puentes.	104
CAPITULO III. OBRAS ACCESORIAS.	107
Pretils.. . . .	107
Malecones.	108
Guías.	108
Postes indicadores.	109
Casillas de peones camineros.	110
Casas portazgos.	110
Arbolado.	111
Fuentes, abrevaderos, pozos.	112
CAPITULO IV. FIRME.	115
CAPITULO V. PRESUPUESTOS.	117

VIII.

CUBICACION DE LA ESPLANACION.

	Páginas.
Método exacto..	119
Método de las áreas medias, de las secciones extremas.	125
Método de la seccion media..	125
Comparacion de los tres métodos.	125
Cálculos de las áreas de los perfiles.	126
Métodos analíticos..	127
Métodos gráficos.	131
Medios mecánicos.	155
Planimetros.	155
Cubicacion de las obras de fábrica..	157
Cubicacion del afirmado.	158

VALORACION.

Esplanacion.	140
Trasportes.—Distancias medias.	141
Coste del metro cúbico de desmonte.	144
Precios de transporte.	147
Precios de terraplenes.	152
Precios de las obras de fábrica.	155
Precios del afirmado.—Materiales.	162
Arreglo de la piedra y estension de recebo.	164
Cilindrado.	165
CAPITULO VI. CONDICIONES..	171
Condiciones generales.	171
Condiciones facultativas.	175
Condiciones económicas.	175
Conclusion.—Esplicacion del formulario para la forma- cion de los proyectos.	177

PRÓLOGO.

Los tratados publicados sobre el trazado y construcción de las carreteras, apenas contienen indicaciones sobre el modo práctico de fijar la dirección de ellas. En diferentes libros se hallan consignadas algunas generalidades aisladas, pero siempre muy incompletas para poder formarse una idea siquiera aproximada de los detalles que deben tenerse presentes para ejecutar estas operaciones, que por otra parte son de suma importancia y de frecuente aplicación para el Ingeniero de Caminos.

Esta falta de un libro en que se hallen descritas las reglas prácticas, para la buena elección de un

II

trazado , me obligó , en el tiempo que desempeñé como profesor de la escuela especial de Ingenieros de Caminos , Canales y Puertos , la clase de caminos ordinarios , á formar unos apuntes en forma de lecciones , para poder presentar con el debido orden y bajo el punto de vista práctico , las reglas que en mi opinion debian servir para hacer un trazado de carretera ; reglas basadas en algunas indicaciones de la teoría , y mas principalmente en los medios de que me habia valido para vencer las dificultades que en el servicio de las carreteras se me habian presentado.

Conociendo por lo tanto la utilidad de presentar ordenadas estas reglas y reunir á ellas la parte teórica indispensable descartando todo aquello que no tiene una aplicacion inmediata , me hizo concebir la idea de completar aquellos apuntes , no con objeto de formar un tratado completo , que sería en mí una pretension irrealizable , sino de iniciar el pensamiento de escribir lo que la práctica y el estudio me ha enseñado , á fin de que mis ilustrados compañeros con mas títulos y conocimientos que yo , venciendo con el ejemplo su escesa modestia , nos

III

enseñen cuanto en el servicio de las obras han aprendido , contribuyendo asi á la mayor perfeccion de la ciencia del Ingeniero.

Es evidente que estos apuntes que presento solo podrán , tal vez , tener alguna utilidad para los que conociendo la ciencia de la construccion se dediquen al estudio de las carreteras ; escasa ó ninguna para los Ingenieros de Camines ya prácticos en estas operaciones , que mejor que yo saben ya el modo de vencer las dificultades que en la práctica se presentan. Mas si consigo que alguna utilidad reporte este compendio para la enseñanza , por pequeña que sea , satisfaré mis aspiraciones , que no son otras que lograr ayudar con mis débiles fuerzas , á cuanto pueda contribuir en bien del servicio de las obras públicas.

INTRODUCCION.

Que las vías de comunicacion son uno de los elementos mas principales para el desarrollo material é intelectual de los pueblos, es hoy un axioma; nadie niega su importancia, y son por todos reconocidas como los medios mas poderosos para fomentar las ciencias, las artes y la industria en general. La grande utilidad que han proporcionado á medida que su viabilidad se mejoraba, ha sido el principal móvil que ha conducido á perfeccionarlas, hasta el grado que hoy presenta la notable invencion de los *caminos de hierro*. Mas aunque estos sean hoy las vías mas perfeccionadas, no por eso debemos deducir que deben ser las únicas que han de llevarse á cabo y prescindir para siempre de los *rios, canales y caminos ordinarios*; antes por el contrario, deben aquellos

VI

construirse con mesura y discernimiento, y no olvidar que estos tienen sus ventajas especiales, y pueden reunir en muchas circunstancias condiciones de preferencia.

Es un grande error suponer que los caminos ordinarios ó las carreteras, pierdan su importancia desde el establecimiento de los caminos de hierro, siendo así que estas las adquieren mucho mayor, si se las considera como afluentes á este poderoso medio de circulacion; podrá suceder que una carretera determinada pierda parte de su utilidad, con la ejecucion de un ferro-carril inmediato y paralelo á su direccion, que absorba todo el movimiento de los trasportes; mas las demas carreteras que afluyan á este y que antes terminaban en aquella, habrán ganado considerablemente, pues servirán de conductos por donde se estenderá la grande actividad del ferro-carril y se trasporten los productos que han de alimentarle.

La utilidad de las comunicaciones, aunque casi siempre reconocida, no ha sido en todos los siglos apreciada del mismo modo, y basta para convencerse de ello, y para descubrir las vicisitudes ó la historia de las carreteras, dirigir una mirada á los antiguos tiempos.

Recorriendo la historia de los primeros siglos, encontramos en el imperio de Semíramis, la primera noticia sobre un camino mandado construir, no con objeto de favorecer el comercio, sino mas bien como camino estratégico, y ejecutado con el lujo y grandiosidad que distingue á todos los monumentos de aquella época.

Cuando los romanos se hicieron dueños del mundo, sur-

VII

caron sus dominios con algunas calzadas, considerándolas exclusivamente como caminos militares, cuyo objeto era tan solo la mas pronta traslacion de sus legiones. La construccion de estos caminos, de los cuales se encuentran todavía muchos restos en nuestra Península, es una prueba mas de los poderosos medios de que estos dominadores disponian para llevar á cabo sus pensamientos.

A principio de la era cristiana, Augusto César recompuso algun tanto las calzadas, principalmente la vía Flaminia y el camino de los Arenates de Mérida, restaurando tambien el que se dirigia á Cádiz.

Los emperadores romanos continuaron reparando los caminos y construyendo obras de alguna importancia para mejorarlos, como es ejemplo el puente de Alcántara construido por Trajano sobre el Tajo.

La irrupcion de los bárbaros ocasionó la destruccion de la mayor parte de estas vias, pues dividido el imperio romano en diferentes Estados, procuraba cada conquistador su aislamiento, preparándose á la defensa de su territorio, destruyendo las comunicaciones con los demas Estados con quienes no existia otra cosa que un constante antagonismo y una manifiesta predisposicion para la guerra.

No obstante estas indicaciones que nos da la historia de los antiguos tiempos, hay pocas noticias de que los reyes de los siguientes siglos se ocuparan de las vías de comunicacion; y se comprende que así sucediera, atendiendo al espíritu que dominaba y á las continuas luchas en que se empeñaban unos

VIII

pueblos con otros, y que tenia dividida nuestra Península en diversos Estados independientes.

No se crea que este abandono en las vías de comunicacion, acontecia solo en España, sino que tambien sucedia en los demas paises; y en Francia mismo puede decirse que hasta el reinado de Luis XIV no se empezó á construir algunos caminos que conducian á los sitios reales, los cuales se ejecutaban con el lujo consiguiente al objeto que tenian.

A principios del siglo pasado apenas teniamos caminos; las comunicaciones se establecian por simples veredas de difícil tránsito, cuyos pasos difíciles se construian ó arreglaban algunas veces por los reyes, los señores ó por prestacion de los pueblos mas inmediatamente interesados en estas vias, únicamente transitables á las caballerías, que eran los medios de trasporte que por lo general se empleaban.

A mediados del siglo pasado, en tanto que en Francia se ensayaba por primera vez la prestacion personal en la construccion y conservacion de los caminos reales, en España, Fernando VI comenzó á dar alguna importancia á las obras públicas, y mas principalmente á los caminos, que yacian completamente abandonados, y que eran verdaderas veredas por donde apenas podia circular un solo carruaje. En aquel tiempo, los viajes se hacian comunmente á caballo, y acontecia á veces en algunos puntos, que encontrándose en direcciones contrarias dos viajeros, tenia alguno de ellos que volver atrás para poder dejar paso al otro, por no permitir el camino el cruzamiento.

IX

El camino de Madrid á la raya de Francia se proyectó en aquel reinado, se ejecutó el de Reinosá á Santander, y se ensanchó y arregló el paso de la sierra de Guadarrama, que se hallaba casi impracticable y escesivamente peligroso.

No obstante estas primeras determinaciones en bien de los caminos, no se pensó con detenimiento en construir y conservar estas vías, hasta el reinado de Carlos III en que se dieron las primeras disposiciones para fomentarlos y organizar su construccion; si bien la falta de conocimiento y de recursos y la viciosa administracion, eran obstáculos que impedían dar mayor desarrollo á las obras, en las cuales se invertían con poco acierto sumas de consideracion.

Por estas causas, en los últimos años del reinado de Carlos III y principios del siguiente, el Ministro Floridablanca se ocupó de la creacion de un personal facultativo especial que cuidase del proyecto y construccion de los caminos, los cuales, no obstante las grandes sumas destinadas á ellos, habían adelantado muy poco, sirviendo los construidos para poner de manifiesto los abusos y errores que en su direccion y construccion se cometían. Pero la revolucion que comenzó á principios de Carlos IV, volvió á sumergir en la inaccion la construccion de las carreteras y de todas las obras públicas, abandonando también las pocas que se hallaban construidas.

Llegó por fin la época en que se empezó á dar verdadera importancia á las carreteras, y á comprender cuán ventajosas eran para fomentar la riqueza del país, y el célebre

Betancourt propuso desde luego la instalacion de una Escuela, para formar hombres especiales que dirigiesen las obras públicas, con el título de *Ingenieros* de Caminos y Canales del reino.

A fin del año de 1801 las carreteras construidas y proyectadas en España, eran seis, que se dirigian: á Vizcaya por Búrgos. á Castilla y Galicia, á Aragon y Cataluña, Andalucía y Estremadura; pero de estas carreteras habia solo construidas 386 leguas, y faltaban para terminirlas 257, es decir que en los cincuenta años que habian trascurrido desde que Fernando VI construyó el camino de Reinosa á Santander, solo se habia logrado hacer poco mas de siete leguas de carretera cada año, en tanto que en el vecino imperio, se ejecutaron en este tiempo de cinco á seis mil leguas de caminos.

En el presente siglo las carreteras y las obras públicas han seguido la misma marcha que la política; fomentadas durante las épocas constitucionales, eran olvidadas al mismo tiempo que dejaba de existir el Código fundamental del Estado, pudiendo muy bien decirse que los trabajos hechos datan desde 1834, en cuya época solo existian en España 670 leguas de carretera construida, y 182 habilitadas de los antiguos caminos; es decir, unas 200 leguas mas que al empezar el siglo.

En 1834 empezó la nueva era para las obras públicas; la Escuela de Caminos se restableció, se introdujeron modificaciones en la administracion, y á pesar de la guerra

XI

civil y de las luchas de los partidos políticos, las carreteras tomaron algun desarrollo; muy grande, si se compara con lo acaecido hasta la muerte de Fernando VII, contándose ya en España en 1854, 1.475 leguas de carretera (8.175 kilómetros) de las cuales solo 96 eran habilitadas; mas su estado de conservacion era escesivamente deplorable; la mayor parte de los firmes habian desaparecido, infinidad de trozos habíanse convellido en inmundos atolladeros de peligroso tránsito y de incalculables perjuicios para los trasportes.

El año de 1854 inaugura otra nueva época para las obras públicas; despues de la revolucion de Julio se fija la atencion en el estado deplorable de los caminos, se crean recursos, se destinan algunas sumas á las urgentes reparaciones, se continúan muchas de las carreteras paralizadas, se regularizan y aumentan las consignaciones, y en fin se inicia la senda por donde debia desarrollarse la conservacion y construccion de todas las obras de pública utilidad, fuente inagotable de la verdadera riqueza.

En los años siguientes al de 1854 se dictan disposiciones para la mejora de las carreteras, se consignan en los presupuestos cantidades de alguna consideracion para repararlas, se promulga la ley de carreteras (1857) y se establece un plan general de comunicaciones, activando considerablemente los proyectos, inaugurando muchas obras nuevas y mejorando notablemente el estado de conservacion de los caminos.

La actividad que en los años 1858, 59, 60 y 61 se ha

XII

desarrollado en las carreteras, está evidentemente marcada en el estado de las mismas; y cualquiera que recuerde el aspecto de estas vías en 1854, comprenderá desde luego los sacrificios que habrá sido necesario hacer y las disposiciones urgentes que se habrán tomado, para lograr trasformarlas al estado en que hoy se hallan, y para poner en actividad el número de las que hoy están terminadas ó en construccion.

En 1859 se hallaban contruidos 9.800 kilómetros de carretera, y en construccion 2.800; en la actualidad podemos fijar en 11.000 el número de kilómetros que tenemos terminados de estas vías; mas si en lo sucesivo se continúa atendiendo á este importante servicio de la Administracion del Estado, del modo que el Gobierno actual lo practica, y si estudiando las mejoras que puedan todavía introducirse en él, se llevan á cabo en un corto plazo, tendrémos en breve surcada nuestra Península de estos importantes medios de comunicacion, base del brillante porvenir de nuestra riqueza y engrandecimiento.

Hecha esta lijera reseña de la historia de las carreteras y marcada su importancia, descúbrese cuán necesario y conveniente será conocer el modo de dirigir las y ejecutarlas, para que la influencia que hayan de ejercer sea la mas provechosa: es decir, que al tratar de ejecutar una carretera deben saberse *buscar los medios mas convenientes para disponer con la mayor economia posible, ciertas partes del terreno para que puedan facilitarse por ellas la circulacion de las personas y el movimiento de los trasportes.*

XIII

Al intentar llevar á cabo este propósito, nos encontramos primeramente con la necesidad de buscar la *direccion* mas conveniente, y despues de hallada *destruir los obstáculos* que la naturaleza ha de presentar hasta corregir la *preparacion del terreno*; la cual obtenida, debe procurarse *conservarla* ó que la accion del tiempo no la destruya.

De aquí resultan tres partes principales: 1.ª La determinacion de la *direccion*, ó sea el *proyecto* de la carretera. 2.ª Su construccion. 3.ª Su conservacion. Mas siendo el objeto de este compendio ocuparnos tan solo del modo de fijar la *direccion* de estas vías, prescindirémos de la 2.ª y 3.ª parte, proponiéndome tan solo presentar los medios de fijar la *direccion* mas conveniente de una carretera, ó sea su *proyecto*.

Al hacer este propósito, ni es mi objeto entrar en estensas consideraciones teóricas, ni tampoco comprender el sin número de casos y detalles que en la ejecucion de un *proyecto* se presentan; creo mas útil limitarme tan solo á presentar los casos y dificultades mas comunes, la teoría indispensable como base de la práctica, y los medios prácticos de llevar á cabo todas las operaciones que abraza la ejecucion del *proyecto* de una carretera.

Este es mi propósito, pero comprendo que no basta la voluntad para lograr satisfacerle debidamente.

TRATADO

DE LA FORMACION

DE LOS PROYECTOS DE CARRETERAS.

El proyecto de una carretera considerado de un modo general comprende la fijacion exacta sobre el terreno de los parajes por donde la vía ha de establecerse, y la determinacion de todas las operaciones y obras que son necesarias para llevar á cabo su ejecucion. La 1.^a parte constituye los *trabajos de campo*, la 2.^a los de *Gabinete*, y unos y otros deben satisfacer á ciertas *consideraciones generales*, si ha de conseguirse la buena direccion del trazado. Por lo tanto este tratado comprenderá en primer lugar las *consideraciones generales*, y despues los *trabajos de campo y los de Gabinete*.

PRIMERA PARTE.

CONSIDERACIONES GENERALES.

CAPITULO PRIMERO.

CONDICIONES GENERALES Á QUE DEBE SATISFACER UN TRAZADO.

Condiciones
á que debe
satisfacer el
trazado
de una
carretera.

De la definicion y objeto de los caminos, se deduce que sus trazados han de llenar necesariamente determinadas condiciones, para favorecer los intereses generales de la nacion ó del territorio que cruzan; por lo tanto deberán satisfacer á ciertas exigencias que podrán clasificarse en: *militares ó estratégicas, administrativas, comerciales y facultativas.*

Es evidente que no todas las carreteras que se construyan tendrán la misma importancia, ni tampoco será necesario en

su trazado atender á todas estas condiciones á la vez ; mas debiendo tenerse presente en muchas de ellas , darémos una idea acerca del modo como influyen todas en el trazado y la manera de satisfacerlas ; si bien las que mas directamente interesan al Ingeniero de Caminos y sobre las cuales insistiremos , son las que hemos denominado *facultativas*.

Condiciones
militares ó es-
tratégicas.

Las condiciones estratégicas pueden influir en el trazado general de las carreteras ó solo en alguna parte de él ; influirán en su totalidad , cuando el objeto de esta via sea principalmente militar , como el de poner en comunicacion varios puntos fortificados ; el facilitar el movimiento de tropas , y hacer que estas lleguen con la mayor seguridad posible y el mas breve tiempo á los puntos fortificados ; así como las conducciones de víveres y municiones ; é influirán en un trayecto parcial de ellas , cuando crucen alguna zona militar , se aproximen ó lleguen á plazas fortificadas , así como tambien cuando se acerquen á las fronteras.

Si el objeto de la carretera fuera puramente militar , su trazado sería de esclusiva competencia del cuerpo de Ingenieros militares , quien fijaría entonces su direccion conforme á las leyes de la estrategia militar ; mas en los demas casos las consideraciones militares ó de defensa del territorio , solo podrán influir parcialmente , bien sea en la direccion de las comunicaciones , ó bien en la clase de obras que hayan de ejecutarse.

Así sucede al llegar con el trazado de una carretera á las inmediaciones de una plaza fortificada ; en este caso antes de ejecutar el proyecto en la zona militar , debe darse el competente aviso al Ingeniero de ella á fin de que de comun acuerdo y buscando el medio mas conciliatorio para satisfacer todas las

necesidades , se fije la direccion que mas convenga para el trazado.

Del mismo modo á las inmediaciones de las fronteras , es indispensable que la direccion definitiva de toda via de comunicacion , sea el resultado de una comision mixta de Ingenieros militares y de caminos ; para que teniendo en cuenta los primeros las condiciones de defensa , y los intereses del comercio y condiciones facultativas los segundos , se adopte la traza que mejor cumpla con todas ellas , proponiéndola en consecuencia á la superioridad.

Las condiciones militares en estos casos son dificiles de satisfacer ; pues como en épocas de guerra las carreteras construidas con buenas condiciones de defensa , pueden favorecer á la ofensiva del enemigo , el problema que militarmente hay que resolver es mas complicado de lo que á primera vista aparece.

Por fortuna las probabilidades de guerra van desapareciendo á medida que las comunicaciones se multiplican , aumentando las relaciones entre los pueblos y ligando unos con otros sus intereses ; por eso la influencia de las condiciones militares , aunque siempre respetables , van perdiendo su importancia de dia en dia.

Condiciones
administrativas.

En la direccion general del trazado pueden muchas veces influir consideraciones administrativas ó de gobierno ; puesto que siendo las carreteras los conductos por donde se trasmite la accion de las autoridades , deben servir para favorecerla cuanto sea dable y hacer mas rápido el cumplimiento de las disposiciones emanadas de cada uno de los centros del poder ejecutivo.

Condiciones
comerciales.

La influencia de las consideraciones económico-sociales en el trazado de las carreteras , son tambien muy dificiles de de-

terminar con exactitud, al mismo tiempo que son de la mayor importancia para fijar la direccion mas conveniente de toda via de comunicacion.

El interés general del comercio exige la baratura de los transportes, y la mayor economía posible de tiempo, es decir, tener carreteras cómodas ó de fácil viabilidad, y de la menor longitud. Mas si esta última consideracion puede mover á adoptar el trazado mas corto entre dos puntos dados, queda todavía por resolver la cuestion de si convendrá ó no alterarle, para satisfacer las necesidades comerciales de otros puntos inmediatos, es decir, que se presenta el problema de fijar si es mas conveniente para el bien público adoptar el trazado natural directo entre dos puntos primordiales, ó aumentar su longitud para conseguir las ventajas que el comercio de los puntos intermedios proporcione.

Esta cuestion parece á primera vista fácil de resolver: en efecto, si se calculan por uno y otro trazado el tiempo invertido en los transportes, sus precios y en general los beneficios que la circulacion va á experimentar de su ejecucion, se podrán fácilmente comparar entre sí ambos resultados y deducir si los perjuicios por el aumento de longitud se hallarán compensados ó no, con las mayores ventajas que al comercio é interes público van á resultar, dirigiendo el camino por estos puntos intermedios; deduciendo así cual es la direccion mas conveniente del trazado de una carretera.

Mas á poco que fijemos nuestra atencion, llegaremos á reconocer que estas investigaciones fundadas en la invariabilidad de la situacion comercial, no son nada exactas; porque siendo los caminos uno de los principales orígenes del fomento de las transacciones mercantiles, estas tomarán mayor desarrollo y

mas actividad tan pronto como los focos de produccion se comuniquen facilitando la estraccion de los frutos de la tierra y productos de la industria; y porque este incremento del comercio no afectando del mismo modo á todos los pueblos, las circunstancias relativas de unos y otros variarian necesariamente con el tiempo.

Esto es lo que acontecería al hacer los cálculos que antes hemos indicado, puesto que los datos de donde sería preciso partir para obtener la comparacion, sería el estado presente del comercio de cada uno de los pueblos, cuyo porvenir nadie podría imaginar. Por otra parte, el querer deducir el desarrollo que pueda tomar el comercio ó la industria de un pueblo, por comparacion con otro, es muy aventurado y espuesto á exageraciones de trascendencia; pues podría muy bien suceder que presuponiendo un gran desarrollo en ciertos puntos, este no llegára á ser sino mucho menor de lo que se esperaba; y resultar, basándose en estos supuestos, que el trazado adoptado no producía los efectos que habian servido de circunstancias de preferencia de una direccion sobre otra; resultando tal vez perjudicados los intereses generales: y por el contrario, podría desecharse un trazado porque se creyera que la industria de ciertos pueblos no habia de sufrir notables adelantos y llegára por fin á un estado floreciente.

Por todas estas razones debe procurarse que todo trazado siga la direccion mas corta posible entre los puntos fijos de una via de comunicacion, y no separarse de ella, á menos que circunstancias bien patentes no indiquen la preferencia, sin dejarse seducir por esperanzas que puedan no verse realizadas. Mas de todos modos debe conciliarse en lo posible dirigir las vias de comunicacion por los parajes de mayor produccion y

consumo, á fin de que los sacrificios que se hacen para crearlas, sean los mas aprovechados posible; consiguiendo ademas que el elemento civilizador que llevan consigo estas vias, se haga estensivo al mayor número de poblaciones.

Todas las consideraciones espuestas, tienen mas aplicacion al *trazado general* de una carretera en el cual todos los puntos mas principales de ella son fijados, que al que mas inmediatamente compete al Ingeniero; sin embargo, ya sea para proponer ó informar al Gobierno sobre la conveniencia de ciertas líneas, ó ya sea para elegir el trazado de estas entre los puntos fijos en el trazado general, hay con mucha frecuencia que aplicar las anteriores consideraciones, en mayor ó menor escala, segun la importancia del camino y la distancia que separa los puntos que hayan de comunicarse.

La eleccion de estos puntos principales corresponde al Gobierno; el cual procura ó debe buscar siempre, fijar la direccion de las comunicaciones por los parajes en que naturalmente se halle mas desarrollada la produccion y la riqueza comercial. Determinados estos puntos de sujecion, el Ingeniero fija la traza atendiendo á las condiciones facultativas; y únicamente para los pueblos próximos á este trazado, podrá hacer aplicacion de las indicaciones que acabamos de consignar.

Si en España poseyéramos una buena estadística, fácil le sería siempre al Ingeniero obtener estos datos; y aunque en los últimos años se haya hecho un notable adelanto en esta parte tan importante del servicio del Estado, todavía el Ingeniero, se verá en el caso de registrar los archivos de los pueblos y consultar á las personas instruidas de cada localidad, para poder llegar á formarse una idea siquiera aproximada de la verdadera riqueza y poblacion de cada uno, y deducir así su importancia

y las ventajas y porvenir que pueda proporcionarle una nueva comunicacion. Mas al tomar estas noticias debe el Ingeniero hallarse prevenido contra el interes mas ó menos grande que pudiera haber en exagerarlas para favorecer localidades determinadas, lo cual podría hacerle dar importancia á una direccion que realmente no la tuviera.

CAPITULO SEGUNDO.

CONDICIONES TÉCNICAS Ó FACULTATIVAS.

Condiciones
facultativas.

CUANDO despues de tener presente las consideraciones espuestas, se han elegido los puntos principales y fijado así el *trazado general* de la carretera, el Ingeniero pasa á ejecutar el *trazado facultativo*; sujetándose para ello á las condiciones técnicas á que todo buen proyecto debe satisfacer, y que pueden concretarse en las siguientes:

- 1.º Que la construccion de la línea que se proyecte exija el menor gasto posible.
- 2.º Que se halle en buenas condiciones de conservacion.
- 3.º Que el trazado sea el mas favorable al movimiento de los trasportes.

Satisfechas todas estas condiciones no habrá nunca duda de la bondad del trazado que se proponga; y en la imposibilidad de conciliar todas á la vez, debe procurarse siempre aproximarse á ellas lo mas posible.

Primera
condicion.

Consideradas ahora teóricamente estas condiciones exige la primera el mas pequeño volumen de desmontes y terraplenes, el menor número é importancia de las obras de fábrica y la

mayor proximidad de los materiales de construccion; pues como la distancia de estos á las obras influye poderosamente sobre los precios de ellas, pudiera en algun caso preferirse una direccion que exija por ejemplo, mayor número de obras, porque se aproxime á los puntos de estraccion del material de construccion.

La menor remocion de tierras se obtendrá, adaptando el trazado á todas las ondulaciones del terreno, para evitar los desmontes y terraplenes; mas esta indicacion que conviene sobre manera tener muy presente, no siempre es posible; y es necesario ademas, conciliarla con la tercera condicion que hemos enumerado y que á veces se opone á que aquella se satisfaga.

Se conseguirá disminuir la importancia de las obras de fábrica, procurando cruzar con el trazado el mas pequeño número de rios, arroyos, barrancos y en general pasos de agua, y buscando para salvarlos la direccion y parajes mas convenientes, para evitar obras oblicuas, conseguir desagües y alturas reducidas y construcciones en buenas condiciones y económicas.

Segunda
condicion.

La segunda condicion se satisfará si el trazado que se adopta se dirige por aquellos parajes en que la accion destructora del tiempo y la influencia atmosférica produzca el menor deterioro posible en las obras; y por donde los materiales que hayan de emplearse para las reparaciones y conservacion de ellas se hallen mas inmediatos; sin perder de vista que á igualdad de las demas circunstancias, los gastos de conservacion han de ser evidentemente tanto menores, cuanto mas pequeña longitud de línea resulte; y por lo tanto tambien bajo este punto de vista debe procurarse disminuirla todo lo posible.

Mas adelante examinaremos el modo de conseguir práctica-

mente que los trazados satisfagan á estas dos condiciones, y vamos á pasar á considerar las bases teóricas que han de servirnos de fundamento para llenar debidamente la tercera condicion.

Tercera
condicion.

Esta, segun hemos indicado, es que el trazado de toda carretera debe satisfacer á la condicion de ser el mas económico y conveniente al movimiento de los trasportes.

Para satisfacer á ella se presenta como primera necesidad, la mayor disminucion posible del trayecto, y como consecuencia la de procurar establecer la traza en línea recta; mas no presentándose el terreno sino rara vez y en cortos espacios en la forma conveniente para satisfacer esta condicion, y siendo lo natural tener que cruzar ondulaciones y desigualdades mas ó menos grandes así como estribaciones, barrancos y pronunciadas divisorias, es indispensable que las carreteras se compongan de pendientes y curvas que naturalmente han de modificar las condiciones de la traccion; pero como por otra parte sabemos, que los motores animados no pueden marchar por todas las pendientes, y que la accion del tiro de un carruaje se modifica en las curvas, de aquí, que no podamos adoptar cualquiera pendiente en el proyecto de una carretera y la necesidad de señalar algun límite á las curvas:

De modo que el problema se reducirá á las siguientes cuestiones.

- 1.ª Sino es indiferente la adopcion de las pendientes, ¿cuál es el límite de estas que debemos adoptar?
- 2.ª ¿Qué influencia ejercerán las pendientes que adoptemos en la circulacion de los trasportes?
- 3.ª ¿Cuál será, atendiendo á las pendientes, el trazado mas conveniente?

:

4.ª ¿Cómo influyen las curvas en la traccion, y cuál debe ser su límite?

Límite de las
pendientes.

Basta fijar un momento la atencion para conocer que las *rampas y pendientes* de una carretera han de tener por precision un cierto límite: en efecto, obligado un motor á trasportar pesos ó efectuar cierta traccion subiendo con una inclinacion cualquiera, tiene que ejercer tanto mayor esfuerzo cuanto mayor sea la inclinacion del camino que recorre; pues á medida que esta aumenta, las componentes de los pesos que tiene que trasportar en direccion de la rampa y que en union de los rozamientos actúan en sentido contrario á la accion que tiende á producir, aumentan tambien; y por consecuencia se comprende exista una inclinacion, en la que estas componentes hayan aumentado, hasta igualar el esfuerzo limitado del motor, el cual en este caso, no podrá producir movimiento alguno.

Por el contrario en las pendientes ó descensos, el motor que marcha por ellas se halla ayudado por las componentes de su propio peso y del que trasporta; en términos de que la inclinacion puede aumentar, hasta obligar al motor á ejercer un esfuerzo en sentido contrario á la direccion de su camino; y tal puede ser esta, que se vea arrastrado por estas componentes: esto es lo que se verifica en ciertas pendientes, para cuyo descenso se hace actuar en los vehículos de transporte, las *galgas, frenos etc.* con el fin de aumentar las resistencias pasivas.

Vemos pues la necesidad de fijar las pendientes límites á fin de que no resulte ninguno de los inconvenientes que hemos enumerado.

Llamando

F la fuerza de traccion que las caballerías tienen que ejercer tirando de un vehículo.

P el peso arrastrado, compuesto del carruaje y su carga.

p el peso del motor.

r el coeficiente del rozamiento del vehículo, ó la relacion del peso total y el esfuerzo necesario para moverle.

h la altura por unidad de longitud de la pendiente ó rampa.

Tendremos (fig. 1.^a) que en las rampas

$$F = r \cdot P \cos abc + (P+p) \sin abc;$$

$$\cos. abc = \frac{bc}{ab} = \frac{\sqrt{ab^2 - h^2}}{ab} = \sqrt{1 - h^2}; \sin abc = \frac{ac}{ab} = h;$$

pero como h es siempre muy pequeño comparado con la unidad (1) podremos despreciar h^2 ó admitir $\cos. abc = 1$, y será

$$F = r P + (P+p) h;$$

Del mismo modo en las bajadas ó pendientes hallarémós

$$F = r P - (P+p) h.$$

Esta última fórmula nos dice; que en las pendientes el motor no hará esfuerzo ninguno, desde el momento en que se verifique $r P = (P+p) h$ ó $h = \frac{r P}{P+p}$; pasada esta inclinacion las caballerías de tiro serán empujadas por el carruaje y sus movimientos sobre dicha pendiente violentos y difíciles. Por esta razon al aproximarse á estas inclinaciones límites se hace

(1) Aunque supusiéramos una pendiente del 20 por 100 la cual es inadmisibile seria $h=0,196$ y $h^2=0,038$ y si suponemos una pendiente del 6 por 100 $h=0,0399$ y $h^2=0,0036$.

uso en los carruajes de los frenos, á fin de aumentar las resistencias, y conseguir en lo posible que las caballerías de tiro desciendan cómodamente y como si marcháran libres y sin carga.

Pero para que esto mismo se verifique sin la ayuda de los frenos, es decir, para que el tiro recorra la pendiente con desembarazo y como si fuera libre, es necesario que el único esfuerzo que haga sea el necesario para mover su propio peso; y como en el descenso este actuará en direccion del movimiento, la fuerza necesaria para equilibrarle, ejerciéndose en direccion contraria, será negativa; y así el valor de F de la fórmula anterior será $F = -p \text{ sen } abc = -ph$ y por lo tanto sustituyendo

$$-ph = Pr - (P + p)h = Pr - Ph - ph$$

$$Ph = Pr, \text{ ó } h = r$$

Este valor de h es la inclinacion en que se verifica el equilibrio ó el límite conveniente de las pendientes, para que los motores puedan ejercer cómodamente su traccion.

Si recordamos que r es el coeficiente de los rozamientos, ó sea la relacion de la fuerza de traccion á la carga, y consultamos las numerosas esperiencias que M. A. Morin ha hecho acerca de la traccion de los vehículos de trasporte, deducirémos tomando términos medios, lo siguiente:

	CARRROS y galeras.	DILIGENCIAS.
Afirmados en estado de conservacion ordinaria.	$r=0,055$	$r=0,042$
Afirmados en mediano estado.	$r=0,050$	$r=0,060$
Adoquinados en buen estado.	$r=0,015$	$r=0,021$

Aunque estos valores dependen de la velocidad que lleve el carruaje, de la anchura de las llantas de las ruedas, y de la misma construccion del vehículo de transporte, puede deducirse como término medio aproximado $r=0,050$, y por lo tanto como límite admisible para las pendientes en carreteras afirmadas $h=0,05$ y para el cual será menester casi siempre emplear los frenos ó moderadores, y con tanta mayor intensidad, cuanto mejor sea el estado de conservacion de la carretera.

En todos estos cálculos, nos hemos concretado á las pendientes, ó al descenso de los carruajes; porque en este, es menor el límite de las inclinaciones que en el movimiento ascendente; en el cual á medida que la fuerza de tiro es mayor podrán salvarse rampas mas pronunciadas; hasta llegar á aquella en que el esfuerzo de las caballerías de tiro tenga todo que emplearse en sostenerse á sí propias, cuyo caso llegará cuando la rampa tenga la inclinacion de 0,20 á 0,50. Por lo demas la inclinacion de 0,05 asignada como límite de las pendientes, tiene por otra parte la ventaja, de ser tambien para las rampas la inclinacion mas favorable para el trabajo de traccion de las caballerías que actúan durante 8 ó 10 horas diarias.

Todas estas consideraciones que acabamos de hacer, no deben apreciarse sino como aproximaciones de lo que en la práctica sucede, puesto que en estos cálculos, entran un sinnúmero de datos y circunstancias imposibles de apreciar bien teóricamente.

El tratado de M. Courtois sobre los motores animados contiene curiosas investigaciones sobre este particular.

Influencia de las
pendientes
en los trazados.

La segunda cuestion que nos hemos propuesto es averiguar la influencia que las pendientes ejercen en un trazado.

Para esto supongamos dos caminos de la misma longitud

entre dos puntos fijos, uno de ellos con una pendiente constante, y el otro con pendientes y rampas alternativas, y comparemos los esfuerzos ó trabajos desarrollados, por un mismo motor recorriendo ambas direcciones.

Si llamamos L la longitud total del camino y H la diferencia de altura entre los dos puntos extremos, el esfuerzo total desarrollado en la subida con la pendiente uniforme será $Pr + (P + p) h$ y el trabajo ó cantidad de accion $L (Pr + (P + p) h) = Pr L + (P + p) L h$ pero $Lh = H$ luego tendremos para la accion total desarrollada.

$$Pr. L + (P + p) H$$

Supongamos la serie de inclinaciones que en la (fig. 2) se representan: llamando l, l', l'' etc. sus longitudes y h, h', h'' etc. las diferencias de alturas de el punto A al m del m al n etc. tendremos que la cantidad de accion en cada una de estas rampas y pendientes estará espresada del modo siguiente

$$\begin{array}{llll} \text{Para } Am. & . & Pr l + (P + p) h & op. \quad Pr l''' - (P + p) h''' \\ mn. & . & Pr l' - (P + p) h' & pq. \quad Pr l'' + (P + p) h'' \\ no.. & . & Pr l'' + (P + p) h'' & qB. \quad Pr l^v - (P + p) h^v \end{array}$$

y sumando todas estas espresiones tendremos para accion total desarrollada

$$Pr (l + l' + l'' + l''' + l^iv + l^v) + (P + p) (h - h' + h'' - h''' + h^iv - h^v)$$

pero como suponemos los caminos recorridos por ambos tra-

zados iguales $l + l' + l'' + l''' + l^v + l^v = L$ y como $h - h' + h'' - h''' + h^v - h^v = H$, tendr6mos tambien para expresion del trabajo por el segundo trazado $Pr L + (P + p) H$.

Segun este c6lculo resulta que las pendientes intermedias no influyen te6ricamente en el trabajo total desarrollado por la traccion, (siempre que no pasemos de las pendientes l6mites indicadas), y que solamente influye la diferencia de alturas de los puntos extremos.

Inconvenientes
de las subidas y
bajadas pronun-
ciadas y sucesivas

Si este resultado se admitiera de un modo absoluto, seria indiferente para los trasportes un trazado horizontal que otro de la misma longitud compuesto de subidas y bajadas, y as6 seria efectivamente si los motores animados 6 que nos referimos y que circulan por las carreteras no experimentaran una fatiga que crece muy r6pidamente con la inclinacion del camino que recorren, sin que se verifique tampoco como te6ricamente se supone, que el aumento de esfuerzo que tienen que hacer en las subidas, se compense con el alivio que experimentan en los descensos; y est6 adem6s muy comprobado por la experiencia, que la cantidad de accion que un motor animado produce, es tanto menor, cuanto mas esfuerzos violentos y trabajosos tiene que ejercer; por esto debe procurarse en las carreteras evitar en lo posible las pendientes r6pidas y la sucesion de subidas y bajadas in6tiles y perjudiciales 6 la locomocion, cuando son muy pronunciadas.

Ventajas de un
camino
ligeramente on-
dulado.

Aqu6 debemos hacer una observacion y es, que, no obstante lo que acabamos de decir, debemos tener muy en cuenta que los motores animados trabajan mas c6modamente, cuando var6an de tiempo en tiempo los m6sculos con que ejercen mas directamente el esfuerzo, que cuando durante toda su

accion desarrollan su trabajo con unos mismos; por esta razon, cuando las pendientes ó rampas son de pequeña inclinacion, no hay perjuicio para el movimiento de traccion, y hasta preferente será por esta causa y otras que apuntaremos despues, un trazado ligeramente ondulado, que otro horizontal ó con una pendiente uniforme.

Pendientes acci-
dentales de los
trazados
en pais llano.

Para completar lo relativo á la influencia de las pendientes, nos falta considerar la que ejerce en los trazados sensiblemente horizontales una rampa accidental; pues, desde luego se comprende, que cuando una carretera cruza por un pais escabroso, hallándose compuesta de rampas y pendientes pronunciadas, los vehículos de trasporte llevan la carga correspondiente á la fuerza de que disponen, y á la dificultad del camino; mas siendo un pais llano en que no se encuentre sino una pendiente accidental, si la carga se arreglaba á la fuerza del tiro en el camino horizontal, no podria vencer una fuerte pendiente, sino con la ayuda de caballerías de refuerzo; y por el contrario si la fuerza de traccion se dispone del modo conveniente á vencer la rampa, existiría en la restante parte del camino un exceso de potencia perjudicial para las buenas condiciones de los transportes.

Por esta razon las pendientes fuertes en los trazados en pais llano, producen mas inconvenientes á los transportes, que en los paises montañosos; por lo cual, el límite de las pendientes accidentales debe ser menor que el que hemos señalado.

Límite de las
pendientes acci-
dentales de los
trazados.

Para determinar este límite, podriamos entrar en consideraciones y cálculos referentes al trabajo desarrollado por los motores; pero como esto, nos entretendria demasiado y

por otra parte puede consultarse el tratado sobre los *motores animados* de Mr. Courtois que contienen sobre este particular curiosas indicaciones, nos concretaremos á manifestar que si la fuerza de traccion y la velocidad se arregla de modo que se produzca el máximo efecto en la parte llana del camino, este máximo trabajo, se producirá tambien en una pendiente $H = \frac{V}{8g}$ cuando la velocidad por ella se reduzca á $\frac{V}{8}$ y se arregle la duracion del trabajo de modo que $V = 4rg$; ó $H = \frac{r}{2}$; V es la velocidad constante que puede adquirir el motor libre y sin carga durante un dia, trabajando el tiempo T.

Si suponemos un camino en mediano estado de conservacion, como ya hemos dicho $R = 0,055$ por término medio y por consecuencia $h = 0,027$ y $V = 4 \times 0,055 \times g = 2,158$.

Y si la traccion se efectua con caballos, como para estos, segun las esperiencias, $V^2 T = 144,000$ resultará $T = 30,921$ segundos ó sea $T = 8,58$ horas para la duracion del trabajo diario; y las velocidades deberán ser

En la parte horizontal, $\frac{V}{2}$. . . 1^m,08 por segundo.

En la pendiente de 0,027 $\frac{V}{8}$. . . 0,27

Esta última velocidad es demasiado reducida, para la conveniente circulacion de los trasportes, por lo tanto deben evitarse en los trazados por pais llano pendientes accidentales que lleguen al 0,027 y este límite hubiera resultado mas reducido si lo hubiéramos calculado con la condicion de que los trasportes se verificáran por la pendiente accidental con una velocidad determinada; es decir que se prefiriera la velocidad al efecto máximo de la traccion, como sucede con los coches diligencias ó el transporte de viajeros y las Sillas.

correos. Mas como por las carreteras en general, se verifican á la vez toda clase de trasportes y las diligencias y sillascorreos llevan siempre un esceso de fuerza, para conseguir una gran velocidad, no debemos contar con estos vehículos para nuestros cálculos; pero si quisiéramos averiguar el esceso de fuerza que necesitaría para vencer las rampas accidentales, hallaríamos que todo vehículo necesita doble fuerza para vencer una rampa de 0,01 á 0,015 con la misma velocidad que lleve en terreno horizontal; y triple si la pendiente es de 0,015 á 0,024.

Bastan las consideraciones hechas para juzgar de la influencia de las pendientes en la circulacion por las carreteras, y vamos en consecuencia á deducir las condiciones de un buen trazado, que es la tercera cuestion que nos hemos propuesto.

Condiciones del
trazado
mas conveniente.

Reasumiendo cuanto acabamos de indicar y sin detenernos en mayores detalles y cálculos fáciles de ejecutar, á quien conozca la teoría de los motores animados deducimos:

1.º Que el límite de las pendientes convenientes al buen efecto de la traccion es de 0,05 para las carreteras en regular estado de viabilidad, no llegando sino al 0,055 cuando se hallan en perfecto estado de conservacion y exigiendo ya estas pendientes, el uso de frenos, galgas etc. para moderar el movimiento de los vehículos de transporte.

2.º Que aunque teóricamente no influyan, son muy perjudiciales las pendientes intermedias ú ondulaciones pronunciadas, de un trazado, pero si estas ondulaciones son de pequeña entidad ó de pendientes muy reducidas el trazado será hasta mas ventajoso que si fuera horizontal ó tuviera su pendiente uniforme.

3.º Que en un trazado en pais llano ó sensiblemente horizontal deben evitarse las pendientes accidentales; y en caso de no ser posible procurar no esceder del 0,025. Es muy útil tener presente esta consideracion para evitar las caba-
llerías de refuerzo.

4.º Que el efecto de las pendientes es tanto mas notable, cuanto mas véloz es el movimiento de los trasportes.

5.º Que un buen trazado de carretera, no debe tener pendientes que escedan del límite; ni subidas y bajadas infructuosas, ni cambios bruscos en las pendientes.

No obstante estas consideraciones, debemos indicar que á veces las condiciones económicas pueden conducir á admitir en una carretera pendientes mayores que las asignadas como límites; y así acontecerá en los terrenos montañosos en los cuales hay menos inconvenientes que en los paises llanos, porque siempre se lleva un exceso de fuerza así como tambien podrán admitirse pendientes mayores á medida que la importancia de la carretera sea menor porque no siendo de grande entidad los trasportes, los perjuicios serán inapreciables y las ventajas económicas de aumentar una pendiente, podrán ser de grande importancia.

Curvas.

La influencia que en un trazado tienen las curvas que sirven para unir las diferentes alineaciones de una carretera, afecta al movimiento de los carruajes de transporte y á la traccion de los mismos.

Influencia en el
movimiento de
los vehículos.

La que ejercen en el movimiento de los carruajes, es tanto mas manifiesta cuanto mayor es su longitud, como sucede con las galeras y coches-diligencias; mas en la construccion de estos carruajes sostenidos por cuatro ruedas, se facilita el movimiento en las curvas, haciendo independien-

tes, el par de ruedas delantero de las otras dos; las primeras se colocan sobre un eje que puede girar al rededor de una *clavija maestra* fija á la plataforma del carruaje, y por bajo de esta, pueden pasar las ruedas que al efecto se hacen de pequeño diámetro; las otras dos de diámetro mucho mayor tienen su eje fijo á la misma plataforma.

En el movimiento rectilíneo, la fuerza del tiro actúa en la dirección de la lanza del carruaje y por lo tanto perpendicularmente á los dos ejes que permanecen paralelos; mas al entrar en una curva la dirección de la tracción ejerciéndose oblicuamente al carruaje, cambia la dirección del eje delantero que es constantemente perpendicular á la lanza, y girando al rededor de la clavija tiende á tomar una dirección normal á la curva cuyo efecto comunicado á todo el carruaje, produce una cierta convergencia de los ejes, dependiendo de la curvatura del camino.

Mientras el tren ó eje delantero pueda girar con facilidad, la resistencia que opondrá el vehículo, será, aunque mayor, muy poco diferente que en la línea recta; mas en el momento que la curvatura de la curva fuera tal, que para conseguir que los dos ejes convergieran en la dirección de los radios de la curva, exigiera que el tren delantero girase mas de lo que su construcción se lo permite, las resistencias pasivas, aumentarían considerablemente originándose grandes rozamientos de resbalamiento que antes no existían. De aquí la necesidad de limitar el radio de las curvas.

Influencia de las
curvas
en la tracción.

Esto en cuanto al vehículo; mas respecto al tiro con el cual se ejerce la tracción, la influencia de las curvas es de mayor entidad. En efecto, en las alineaciones rectas, ac-

tuando todas las fuerzas de las caballerías en la misma direccion, el esfuerzo que cada una hace se suma al de la siguiente, mas en el momento que este tiro entra en una curva los esfuerzos de cada una, actuan oblicuamente á las otras; y por lo mismo se descompondrán en dos fuerzas, una que se empleará en efecto útil, y la otra en perjudicial; por que exigirá que cada animal emplee un cierto esfuerzo en destruir esta accion que tiende á separarle continuamente de la direccion que en cada momento lleva; accion que será tanto mas intensa cuanto mayor sea la curvatura de la curva, y cuanta mas longitud ó mas numeroso sea el tiro.

Estos efectos que acabamos de indicar se observan ordinariamente en las carreteras, en donde se ven las precauciones que los conductores toman en el paso de las curvas muy pronunciadas, obligando al tiro á que describa la mayor posible entre los límites que el ancho del firme les permite.

Por todas estas razones debe ponerse un límite á la curvatura ó radios de estas curvas, y procurar siempre adoptar los mayores que permitan las circunstancias locales.

Límite
de las curvas.

La esperiencia, única que para esto conviene consultar, demuestra que el esceso de fatiga que experimentan los animales de tiro marchando por una curva cuyo radio no sea inferior á 25 ó 30 metros es poco apreciable, y cuando escede de 50^m, puede considerarse para la traccion como si fuera nulo. De modo que podemos adoptar para límite de los radios convenientes 25 metros, mas sin embargo hallarémos circunstancias en que tendremos que sacrificar este límite á otras condiciones del trazado; mas en estos últimos casos deberémos evitar con todo empeño las pendientes, haciendo que las curvas de pequeños radios sean siempre horizontales; pues de

otro modo resultaría además de las condiciones difíciles y onerosas para los trasportes, un trazado peligroso á la circulacion.

Resumen

Reasumiendo ahora todas las consideraciones que hemos hecho, podremos decir que *todo buen trazado de carretera debe satisfacer á los intereses políticos y comerciales* que hemos apuntado y á las condiciones facultativas siguientes:

1.ª El menor coste de construccion posible.

2.ª Que se dirija por los parajes que se hallen en las mejores condiciones de conservacion.

3.ª Que sus pendientes no escedan del 5 por 100 en las carreteras de primera importancia; pudiéndose en las demas solo por razones de economía, aumentar algun tanto este límite.

4.ª Que no tenga subidas y bajadas sucesivas con pendientes pronunciadas, y preferir ligeras ondulaciones á pendientes continuas ó largos tramos horizontales.

5.ª Que no tenga cambios muy bruscos en las pendientes, ni rampas accidentales en un trazado horizontal, que escedan del 0,025.

6.ª Que los radios de las curvas no sean menores de 25 metros y que sean siempre horizontales las de radios menores.

Estas condiciones, que satisfechas, proporcionarian un trazado perfecto, nunca podremos llegar á conciliarlas á la vez; mas en todos los casos, debe el Ingeniero procurar satisfacer el mayor número de ellas posible, único medio de conseguir el mas conveniente en cada caso.

SEGUNDA PARTE.

TRABAJOS DE CAMPO.

DOS operacio-
nes distintas.
DESPUES de conocidas las condiciones teóricas que debe llenar un buen trazado de carretera, pasemos á examinar el modo práctico de satisfacerlas sobre el terreno; y todas las operaciones que sobre este, es preciso ejecutar para fijar los puntos por los que ha de pasar la carretera, son las que constituyen los *trabajos de campo*; los cuales pueden considerarse divididos en dos partes; la primera, que se concreta á reconocer cuidadosamente el territorio que la carretera tiene que atravesar determinando la zona ó parajes mas convenientes para su establecimiento; y la segunda, que ejecuta las operaciones topográficas necesarias para la fijacion de la línea y accidentes del terreno que cruza. La primera parte, constituye los *reconocimientos* y la segunda las *operaciones topográficas*.

Es evidente que si se tuvieran cartas muy detalladas y

exactas del territorio que deba atravesarse, podríamos evitar el tener que hacer los primeros trabajos de campo; y aproximadamente podríamos desde luego señalar la dirección de la traza, abreviando así considerablemente las operaciones topográficas. Mas no siendo así y solo pudiendo servir las cartas de que podemos disponer, para fijarnos en la dirección general de las líneas de carretera y la posición de algun punto de paso notable, tendríamos que llevar á cabo los trabajos de campo con toda la minuciosidad y detalles necesarios para poder representar el terreno.

TRABAJOS DE CAMPO.

Después de haberse fijado las condiciones técnicas que debe haber en un buen trazado de carretera, pasamos al estudio del modo preciso de realización sobre el terreno y de las operaciones que debe seguirse en el terreno para que las puestas por los puntos de la línea de carretera sean las que corresponden a los trabajos de campo, los cuales pueden considerarse divididos en dos partes: la primera, que se refiere a reconocer cuidadosamente el terreno por la parte que se trata de trazar, y la segunda, que consiste en las operaciones de establecimiento y la segunda, que consiste en las operaciones topográficas necesarias para la fijación de la línea y accidentes del terreno que cruzan. En primera parte, considero los reconocimientos y la segunda las operaciones topográficas. Es evidente que si se tienen cartas muy detalladas y

CAPITULO PRIMERO.

RECONOCIMIENTOS.

PARA poder hacer los reconocimientos de un modo conveniente, y para observar con fruto los detalles de cualquiera carta, preciso es conocer si en la configuracion de un terreno, existe alguna ley, dependencia ó relacion entre las ondulaciones generales que presenta.

Por esta razon antes de pasar al reconocimiento práctico de las localidades, vamos á presentar algunas indicaciones respecto á la constitucion física de la superficie terrestre, á fin, no solo, de facilitar los reconocimientos, sino tambien para poder deducir del simple estudio de una carta, los puntos mas convenientes para nuestro objeto.

Todo pais se halla cruzado por cadenas de montañas mas ó menos elevadas, y que estendiéndose en todas direcciones dan lugar á las cuencas y valles de los rios. Las cordilleras y los valles, se componen de dos vertientes inclinadas en sentido contrario y cuyas intersecciones forman las *divisorias* y los *talwegs*: las divisorias cuando separan las aguas de una y otra vertiente, y los talwegs cuando á ellas afluyen, dando

Divisorias
y
talwegs.

lugar á la formacion de los rios y arroyos. La direccion y posicion relativa de las divisorias y talwegs, tienen entre sí cierta dependencia que vamos á examinar.

Configuracion
general de un ter-
ritorio.

Considerando una grande estension de terreno como por ejemplo un pais ó una gran parte de nuestro continente, se observa en primer lugar que las aguas que caen y circulan por él, llevan dos direcciones generales y opuestas, para verterse en los mares; lo cual nos enseña, que este continente se halla compuesto de dos vertientes generales, cuya comun interseccion forma la divisoria principal. En España por ejemplo, la divisoria principal que separa las aguas del Oceano y del Mediterráneo, es la cordillera que desprendiéndose de los Pirineos en las inmediaciones de Reñosa, cruza por las cercanías de Burgos y Soria, siguiendo por Molina y Cuenca, para atravesar despues la provincia de Granada formando la Sierra nevada y terminar en la costa del estrecho de Gibraltar.

Suponiendo, para la esplicacion, las dos vertientes generales reemplazadas por dos planos (fig. 3) su comun interseccion dd' que será una línea recta, representará la divisoria principal; mas si en vez de los planos, suponemos las dos vertientes, onduladas pero siguiendo su inclinacion general, y tambien planas estas ondulaciones, tendremos (figura 4) que la divisoria principal será la línea ondulada $abcde$ etc. de la cual partirán am , bn , co , dp etc., que llevarán la inclinacion de las vertientes generales y de las cuales, las bn , dp , que forman los puntos culminantes de estas ondulaciones, dividirán las aguas que afluirán á las am , co , eq etc. hallándose cada una de estas ondulaciones con sus dos vertientes, en el mismo caso con respecto al espacio que abrazan, que las vertien-

tes generales con respecto á todo el territorio que consideramos, y así tendremos á las líneas *bn*, *dp*, etc. como divisorias secundarias y las *am*, *co*, *eq* etc. talwegs del mismo orden.

Relacion entre
las divisorias y
los talwegs, prin-
cipales y
secundarios.

Vemos pues segun esto, que la inclinacion de las divisorias secundarias mide, sensiblemente la pendiente general de las vertientes principales y que los talwegs correspondientes, siguen próximamente la inclinacion y direccion de sus divisorias.

Lo que hemos dicho para las divisorias principales y secundarias, decimos de las de tercer orden; y así tendríamos (fig. 5) que de las divisorias secundarias *a b c d* etc., *e f g h*, partirán las de tercer orden *cn*, *ep*, *fm*, *ho* etc. y los talwegs, *bm*, *do*, *gn*, *kp* etc. de este mismo orden, que afluirán á los del orden anterior *m*, *n*, *o*, *p*; y siguiendo así continuaremos del mismo modo con las divisorias y talwegs de 4.º, 5.º etc., órdenes, en que van subdividiéndose y ramificando las ondulaciones de los terrenos; pudiéndose decir en general, que *la inclinacion de cada divisoria, mide la pendiente de la vertiente correspondiente al orden anterior; y que los talwegs, siguen aproximadamente la pendiente y direccion de las divisorias del mismo orden.*

Es evidente que en la naturaleza no se presenta la superficie terrestre con la regularidad que hemos supuesto; mas aunque las vertientes no sean planas, ni las divisorias y talwegs rectilíneas y aun cuando las cordilleras y estribaciones se presenten bajo una forma muy variada é irregular, no por eso deja de cumplirse la ley que hemos enunciado.

Las divisorias principales aunque sean líneas muy onduladas tanto horizontal como verticalmente, marcarán perfectamente la divisoria general de las aguas, y de ella partirán

las diversas divisorias secundarias que aunque tambien irregulares, seguirán la pendiente general de las vertientes, y á su vez servirán de partida á las divisorias de tercer orden, que siguiendo tambien la pendiente media de las vertientes secundarias, dan lugar á las demás divisorias de órdenes inferiores; y esta reunion de divisorias, origina la formacion de los talwegs, que siguen la direccion media é inclinacion de las divisorias del mismo orden, formándose de este modo (fig. 6) un sin número de ramificaciones, que afluyendo unas á otras, van formando las diversas corrientes de aguas, que reuniéndose, llegan á formar los rios que desaguan en los mares.

Vemos pues que existe una dependencia natural entre las divisorias y los cursos de agua, y tal que dadas las primeras podrémos determinar la direccion de los segundos y viceversa. Así, si se nos dan (fig. 7) en una carta señalados los cursos de agua *abc*, *def*, deducirémos que la divisoria principal llevará la direccion *mno*p, y las de los demás órdenes la que indican las demás líneas marcadas con trazos.

Tenemos pues con lo espuesto lo suficiente para reconocer la configuracion general de un territorio á la inspeccion de una carta, en que se nos dé la direccion de los cursos de aguas: mas aunque de este modo determinemos las divisorias que será menester cruzar con el trazado de una carretera, como estas deben salvarse por los puntos mas convenientes para ello, es menester para la determinacion aproximada de estos puntos de paso y para conocer mas exactamente la configuracion del terreno, saber deducir los puntos mas altos y mas bajos y en general todos sus puntos singulares.

Puntos singulares
de los terrenos.

Estos puntos de máxima y mínima altura ya sea absoluta ó relativa, corresponderán á los parajes en que pueda esta-

blecerse un plano horizontal tangente á la superficie del terreno. Mas como las divisorias y los talwegs no se presentan formando una marcada arista, sino que son la reunion de los diferentes puntos de paso de una vertiente á otra de una manera continua y no brusca como lo sería si dichas vertientes se supusieran planas, las secciones normales á estas líneas serán curvas continuas que tendrán una tangente horizontal en el vértice ó en el punto de separacion ó reunion de las aguas; de consiguiente los planos tangentes horizontales, existirán en los puntos en que se reunan estas líneas; pues en dicho punto existirán las tangentes horizontales y por consecuencia un plano tangente tambien horizontal.

Ahora bien, si suponemos (fig. 8) uno de estos puntos o y las líneas mn y pq que representen divisorias ó talwegs, este punto será un punto mínimo ó el mas bajo del terreno si las cuatro líneas mo , no , qo , y po representan talwegs; y el mas elevado si fueran divisorias: pues en el primer caso las secciones dadas por los planos a, a' b, b' inmediatos al punto o serían cóncavas y superiores al plano tangente horizontal, y en el segundo convexas é inferiores.

Si la línea mn fuera una divisoria y las op y oq dos talwegs del orden inferior inmediato, las secciones a y a' serían convexas y las bb' cóncavas cuyo punto mas bajo se hallaría en la línea pq y por consecuencia la seccion por mn será por lo general tambien cóncava y superior al plano tangente y el punto o será en este caso el mas bajo de la divisoria mn ó sea un punto mínimo relativo.

Podría tambien suceder que siendo mn una divisoria qo fuera otra del orden inferior, y op un talweg; en este caso el punto o seria tambien un punto singular que tendría un

plano horizontal tangente; mas este punto en que se presentaría una marcada inflexion en el terreno, rara vez será á propósito para nuestro objeto.

Si el terreno no estuviera representado por las divisorias y talwegs, sino por curvas de nivel, se descubrirían mas inmediatamente estos puntos singulares. Serían máximos ó culminantes, cuando las curvas se presenten cerradas (fig. 9) y que las mas reducidas tengan cotas mayores, ó que la direccion de las aguas se separe de ellas; y por el contrario los puntos mas bajos. Unos y otros serán siempre el encuentro de todas las líneas de máxima pendiente.

Los puntos máximos y mínimos relativos, se presentarán en los parajes en que las curvas cambien la direccion de su curvatura; es decir, que dos líneas de nivel consecutivas se vuelvan una á la otra su convexidad formando cuatro ramas (fig. 10). En estos puntos solo se unirán cuatro líneas de máxima pendiente.

Y últimamente serían puntos de inflexion del terreno, aquellos en que las curvas de nivel inmediatamente inferiores y superiores á ellos, den los primeros por ejemplo, una sola curva y los segundos tres ramas.

Puntos convenientes de paso de las divisorias.

Estas últimas indicaciones, sobre las que no creemos conveniente insistir, no tienen aplicacion sino á extensiones de terreno muy limitadas que puedan representarse por curvas de nivel en una escala apreciable; mas en la mayor parte de los casos, no tendremos en las cartas, marcadas sino tan solo la direccion de los rios y sus afluentes y á estos debemos tan solo acudir para formarnos idea de los terrenos y deducir el paraje en que aproximadamente deberémos hallar nuestros puntos de paso convenientes.

Para determinar estos puntos, lo primero que debemos hacer es examinar con cuidado las cartas y distinguir las corrientes de aguas ó talwegs de 2.º, 3.º etc órdenes, á fin de deducir la direccion de las divisorias y poder comparar las de un mismo orden entre sí.

Si la direccion general de dos rios de primer orden es la misma y marchan en sentidos opuestos (fig. 41), como estos señalan los talwegs de 2.º orden, si se prolongan hasta la divisoria, en el punto de encuentro se hallará el mas bajo de esta, pues será la reunion de dos talwegs á una divisoria (pág. 53). En este paraje *o* se hallará una garganta propia para el paso de la carretera.

Si los rios son sensiblemente paralelos á una divisoria uno por cada vertiente, podrá suceder que marchen en la misma direccion ó en direcciones opuestas. En el primer caso, como las divisorias siguen aproximadamente la pendiente media de los talwegs, no podremos deducir de esta consideracion consecuencia alguna; y para poder hallar el punto mínimo de esta divisoria, tendremos que recurrir á los talwegs del orden inmediatamente inferior; para que aplicando á ellos, si es posible, el caso anterior, nos dé el punto *o* (fig. 42).

Mas si estos rios que marchan en la misma direccion y paralelos, la cambian para continuar en direcciones opuestas (fig. 44) nos indicarán que el punto mas bajo de la divisoria, se hallará en las inmediaciones del cambio de direccion; puesto que este cambio no se puede haber verificado, sino por interponerse alguna divisoria del orden superior *DD'* á la cual se unirá la *mn* paralela á los dos rios y que irá descendiendo con este, hasta su punto *o*; y desde aquí subiendo hasta unirse á la divisoria *DD'*

Si los rios paralelos marchan en direcciones distintas (figura 15) hay una seguridad que entre los dos puntos de nacimiento *a* y *b* hay un punto mínimo; pues fundándonos en las consideraciones que hemos presentado y atendiendo á que las pendientes de los rios son tanto mas rápidas, cuanto mas se aproximan á su origen, tendremos que desde *a* hácia *b* la divisoria empezará en *a* con una pendiente pronunciada disminuyendo hácia *b*, y al contrario siguiendo la *ba* la pendiente del rio *R'* empezará en *b* con una pendiente pronunciada, disminuyendo hácia *a* y estas dos inclinaciones en sentido contrario, darán en *o* el punto de paso; el cual se aproximará á *a* ó á *b* segun fuere mayor la pendiente del rio *R* ó del *R'*.

Teniendo ya esta idea acerca de la configuracion del terreno y de los medios de fijar aproximadamente y á la simple inspeccion de una carta los puntos singulares que mas pueden servirnos para puntos convenientes de paso de nuestras carreteras, vamos á ocuparnos del reconocimiento; operacion importante de la que depende sin duda alguna el buen trazado de una carretera; pues es imposible lograr satisfacer todas las buenas condiciones de un trazado entre dos puntos, sin conocer detalladamente el territorio que haya de cruzarse y las diferentes direcciones que pueden seguirse á fin de adoptar la mas conveniente.

Modo de practicar los reconocimientos.

Fijados al Ingeniero dos ó mas puntos de la direccion general del camino; ó elegidos por él, teniendo en cuenta las consideraciones que ya hemos hecho; el reconocimiento deberá hacerse entre cada dos de ellos reduciendo así cualquiera línea, á los trazados parciales que unan cada dos de los puntos de sujecion.

Elegido uno de estos, debe emprenderse un viaje al otro

marchando por los caminos ó veredas por donde ordinariamente se establezca la comunicacion, y á fin de ejecutar esta marcha convenientemente, debe procurarse ir acompañado de un guia conocedor de la localidad, á fin de que no solo dirija por los diferentes caminos que existan, sino tambien que pueda contestar á las preguntas que deben hacerse referentes á la configuracion del terreno inmediato, á la mayor ó menor longitud de los caminos que se recorran, al caudal y circunstancias de los cursos de agua, al valor de los terrenos etc. etc.

Estos primeros reconocimientos deben hacerse en uno y otro sentido, por que el aspecto del terreno varía mucho segun la direccion en que se le haya observado, y por otra parte es conveniente en el regreso completar las observaciones que se hayan hecho en la primera marcha que siempre resultan algo incompletas.

Las observaciones que deben hacerse y anotarse en cada uno de estos reconocimientos, son entre otras las siguientes:

Número é importancia de las divisorias que hayan de cruzarse; número é importancia de los pasos de agua; configuracion general del terreno que hayamos atravesado; es decir, espresar si los terrenos son mas ó menos accidentados, y espresar las longitudes aproximadas que se recorran sobre cada uno de ellos, calculadas aproximadamente por el tiempo que se invierte en el tránsito; la mayor ó menor facilidad de obtener materiales, los valores de los terrenos y los puntos notables ó accidentes de importancia, de los que convendrá formar un ligero croquis; fijando en ellos los parajes mas convenientes para salvarlos.

Fijacion de la
zona de terreno
mas apropiado.

Hecha esta primera investigacion, ya se tiene un conocimiento algo aproximado del terreno que se va á cruzar con el

:

proyecto; se sabe la posicion aproximada de las divisorias y talwegs principales, y los parajes que necesitan mayor observacion, y se puede en consecuencia proceder á la fijacion de la zona mas conveniente al proyecto.

Con este objeto se completan los primeros reconocimientos buscando los puntos mas culminantes del terreno ó de los edificios desde donde puedan descubrirse de una sola mirada una grande estension, á fin de poder comparar á la simple vista los accidentes del terreno y la direccion de los diferentes caminos que se hayan seguido; decidiéndose por alguna ó algunas que juzguemos mas conveniente para nuestro objeto; reduciendo así nuestras investigaciones posteriores á limitadas zonas del terreno.

Concretadas así las observaciones, debe pasarse á las divisorias para determinar aproximadamente el paraje que se crea mas apropósito para salvarlas; eligiendo para subir de los talwegs á las divisorias, las estribaciones, cuencas ó valles de los rios ó arroyos que sean afluentes á él, y cuyas vertientes se hallen en las condiciones mas ventajosas para obtener un buen trazado, y que son las siguientes:

- 1.º Que su direccion se aproxime á la general del trazado.
- 2.º Que presente el menor número de accidentes y por consecuencia el menor número de pasos de agua.
- 3.º Que sus vertientes no sean muy rápidas.
- 4.º Que dichas vertientes se hallen convenientemente espuestas, prefiriendo siempre á igualdad de las demas circunstancias, la espesion al mediodia.

La determinacion del punto mas conveniente ó mas bajo de la divisoria, se obtendrá, aproximadamente, valiéndose de las observaciones que hemos hecho sobre los cursos de agua ó

reconociendo con cuidado esta divisoria; y con exactitud, haciendo despues una nivelacion por ella.

Reconocimiento
en los talwegs.

En el paso de los rios, arroyos etc. debemos elegir aquellos puntos que sean mas convenientes para el establecimiento de la obra que ha de construirse para salvarles, sin separarse mucho de la direccion general de la traza de nuestro proyecto; y bajo este concepto, serán preferidos aquellos parajes en que nos encontremos un fondo resistente y en el cual el rio se halle lo mas encauzado posible; no solo para reducir las dimensiones de la obra, sino tambien para conseguir una buena cimentacion y la menor variabilidad del lecho del rio ó torrente; asegurando de este modo el buen porvenir de la construccion.

En las observaciones que deben hacerse respecto á estos pasos de agua, debe comprenderse la altura de las aguas que arrastre en tiempos ordinarios, sus mas bajas y altas aguas, estension del lecho que sumerge en todos los casos, y en general todas aquellas consideraciones que deben tenerse en cuenta para fijar la desembocadura de un puente; sin confiar, sino en casos especiales, en dar al que se construya la misma desembocadura que algun otro construido aguas abajo, pues la forma y naturaleza del lecho del rio y en general las circunstancias de su régimen, pueden exigir que la desembocadura de un puente deba ser mayor, que la de otro construido aguas abajo de él. Consideraciones de la misma naturaleza, deben tenerse muy presentes, cuando la carretera marchando paralela á un rio, sea menester construir sobre su lecho, muros ó diques para el sostenimiento de la esplanacion que pueden alterar las condiciones de su régimen, y comprometer, si no se ha tenido en cuenta esta circunstancia, su estabilidad.

Debe tambien no perderse de vista, y tenerse muy presente que á veces, y principalmente en los paises montañosos, se encuentran pasos de agua insignificantes á primera vista, que el agua que ordinariamente conducen es muy reducida, que el valle que recorre se halla en toda su estension cultivado, y que sin embargo está sometido á crecidas repentinas que aunque de corta duracion inundan todos los terrenos inmediatos. Por el contrario tambien acontece encontrar barrancos ó torrentes con señales aparentes de grandes arrastres de agua, y sin embargo ser muy escasa la que en ellos se reúne. Por todas estas razones, no deben omitirse las consultas á los escritos, y noticias que en cada localidad puedan tomarse de los mismos naturales del pais, y de los propietarios de los terrenos contiguos á estos cursos de agua; teniendo siempre cuidado de adquirir el mayor número de ellas, para evitar las falsas ó exageradas noticias que con miras interesadas pudieran suministrar algunos, creyendo así conseguir la modificacion del trazado de la carretera, de un modo favorable á sus miras particulares. Inútil es advertir, que si en la localidad se halla un puente ya construido que convenga aprovechar, en este caso son escusadas las indicaciones anteriores y tan solo se considerará este puente como otro de los puntos fijos á que debe sujetarse el trazado de la carretera.

Despues de estos reconocimientos detallados, tenemos formada una idea cabal de los accidentes y dificultades del terreno los puntos mas convenientes para salvarlas, y podemos en consecuencia elegir el paraje mas apropósito para dirigir el trazado. A veces sucederá que no exista una diferencia muy marcada entre dos direcciones distintas, y en ese caso las operaciones posteriores deberán ejecutarse en ambas.

Fijacion aproxi-
mada de la direc-
cion del trazado.

Determinado el paraje por donde debe hacerse el trazado de la carretera, se pasa á fijar aproximadamente su direccion; y en esta operacion en que se determina ya la zona del terreno por la cual ha de marchar la nueva via, deben tenerse presente las condiciones facultativas á que debe satisfacer todo buen trazado.

Para llenar estas prácticamente, vamos á esponer algunas consideraciones, y presentar los medios con ayuda de los cuales, se logre el objeto que nos proponemos; y para esto consideraremos dividido el terreno que ha de cruzar el trazado en *terreno llano y terreno quebrado*.

Terreno llano.

Supongamos que la primera parte del terreno elegido sea llana, ó ligeramente ondulada, pero de modo que nunca sus ondulaciones lleguen al límite asignado á las pendientes; en este caso, concebiremos una sola alineacion desde el punto de partida hasta el convenientemente elegido á las inmediaciones de los primeros accidentes; pero si entre estos dos puntos, existe un pueblo algo separado de la alineacion que les une, y esta separacion es pequeña, convendrá aproximar el trazado á él interrumpiendo la línea recta.

Podrá tambien suceder que marchando de un punto al otro, nos encontremos con terrenos pantanosos, edificios de alguna importancia, ó propiedades de gran valor cuya espropiacion sería muy costosa, y en estos casos deberá separarse el trazado de la línea recta, siempre que el perjuicio que pueda resultar para la circulacion por el aumento de longitud, se halle compensado con la ventaja que se obtiene por el menor coste de establecimiento de la carretera; mas debe mirarse con mesura esta consideracion, evitando en cuanto sea posible todo rodeo; porque un pe-

queño aumento de longitud , lleva consigo notables perjuicios á los intereses generales de los trasportes. Por ejemplo si suponemos 2 reales el precio del transporte de una tonelada (1,000 ks.) á un kilómetro de distancia el aumento tan solo de 100 metros produciría un gravámen de 0,20 reales en el precio de transporte de cada tonelada y si al año pasaban por la carretera 50,000 toneladas resultaría un perjuicio en los trasportes de 10,000 rs. anuales y 100,000 por el solo aumento de un kilómetro de longitud , lo cual representaría un capital de dos millones de reales.

Por este ligero cálculo apreciaremos la influencia de un aumento de la longitud y la conveniencia de evitar toda inflexion en las alineaciones ; y aunque se procure perjudicar lo menos posible á las propiedades particulares, no solo por el respeto natural que merecen, sino, tambien porque en último resultado los daños causados redundan siempre en perjuicio del Estado que les indemniza, deben considerarse siempre muy preferentes los intereses generales, y dirigir los trazados satisfaciendo á ellos, sin introducir otras modificaciones que las que patentemente sean compatibles con dichos intereses.

Terreno accidentado.

Si despues de marcada la direccion aproximada de la zona que ha de ocupar la carretera, en el país llano , y fijados con señales provisionales como montones de tierra, piedras etc. los puntos ó vértices aproximados del trazado, pasamos á la parte accidentada del mismo tomando como punto de partida el último ya fijo, podrán suceder cuatro casos: 1.º que tengamos que marchar en la direccion de un valle ó de una divisoria.

2.º Que tengamos que descender desde una divisoria á un talweg, ó subir desde este último á la primera.

- 3.° Que haya de salvarse una divisoria.
- 4.° Cruzar un talweg, pasando de una vertiente á la otra de un valle.

Primer caso.

Cuando se presenta el primer caso, es necesario tener muy presente que, siendo indispensable marchar por una de las vertientes, solo existen en ellas dos direcciones favorables para el establecimiento de la línea de un proyecto; que son en las inmediaciones de la divisoria, ó por el fondo del valle.

La primera direccion inmediata á la divisoria, comprende la zona de terreno que media entre ella y los nacimientos de los cursos de agua; en esta zona, el terreno suele ser bastante llano, las esplanaciones de pequeña entidad y las obras de fábrica insignificantes por la escasa importancia de los cursos de agua: mas para seguir esta zona, es evidente que la carretera ha de conservarse constantemente á la altura de la divisoria, y debemos además hacer notar, que aunque por lo general, y como se deduce tambien de las indicaciones que hemos hecho respecto á la configuracion del terreno, se verifica lo que hemos indicado, tambien se encuentran algunas veces cordilleras escarpadas y accidentes escepcionales que impiden el trazar las carreteras por las inmediaciones de las divisorias.

La segunda direccion, siguiendo una de las vertientes de un valle, es como ya hemos dicho, por su parte baja ó pié de las colinas que le forman; porque por este paraje ó sea la zona inmediata al talweg, las grandes desigualdades del terreno disminuyen, las estribaciones y contrafuertes de las vertientes desaparecen, reduciéndose á corta distancia del fondo del valle, á solo pequeñas ondulaciones fáciles de salvar. Es evidente que en esta segunda direccion las obras de fábrica,

serán de mayor entidad que en la primera; porque los diversos cursos de agua se habrán ido reuniendo para afluir al fondo del valle.

De estas consideraciones deduciremos naturalmente, que el trazado intermedio entre las dos direcciones indicadas, será el mas desventajoso; y efectivamente así se verifica, porque por este paraje se presentan los mayores accidentes, las estribaciones son mas pronunciadas, los pasos de agua mas numerosos y las obras de la carretera serían por consiguiente mas dispendiosas; debemos por lo tanto separarnos de esta posicion en lo posible, aproximándonos cuanto sea dable á las dos direcciones señaladas.

Segundo caso.

Cuando el reconocimiento definitivo para la eleccion de la zona tenga que hacerse bajando de una divisoria á un valle, debe elegirse alguna estribacion ó valle del órden inferior, por el cual pueda verificarse el descenso de la carretera, sin escederse de las pendientes indicadas como límites; por ejemplo el 5 p. ‰. Para ejecutar esta operacion inmediatamente, es necesario tener una vista muy habituada, y haber reconocido mucho el terreno, para poder deducir si el trazado que señalemos ó el desarrollo que vamos á obtener, será suficiente para salvar la altura de la divisoria sobre el valle.

Cuando esto no se ve bien patente, conviene hacer un ligero tanteo con el eclímetro, bajando desde la divisoria al talweg con la pendiente del 5 p. ‰ y á grandes tiradas, en la inteligencia de que si en esta primera operacion (fig. 15) *abcd*, llegamos con la direccion general del trazado á la parte baja del terreno, con mayor razon hallaremos el desarrollo conveniente al descenso, cuando fijemos el trazado *apmbnc od* de la carretera adaptándole á las diversas inflexiones del

terreno. Por el contrario, si llegando al extremo de la estribacion, nos hallamos á una grande altura del talweg, tendremos que separarnos de la direccion general del trazado para buscar el desarrollo conveniente; ó recurrir á un zig-zag que trazaremos del modo que se indicará al tratar de las operaciones topográficas.

Estas mismas consideraciones, se aplican cuando hay que subir del fondo de un valle á una divisoria; y tanto en uno como en otro caso, debe cuidarse de no perder altura infructuosamente; es decir, evitar las contrapendientes ó el *subir* para *bajar* despues, porque estas contrapendientes aumentan el desarrollo y perjudican notablemente á las buenas condiciones de traccion: sin embargo de esto, debe procurarse en las pendientes continuadas de una grande longitud, colocar algunos tramos horizontales ó con pendientes muy reducidas, en los cuales alienten y descansen los motores. Estas consideraciones las ampliaremos algun tanto al ocuparnos de las operaciones topográficas.

Tercer caso.

El tercer caso que hemos supuesto, es aquel en que tengamos que pasar una divisoria, pasando de una á la otra de las dos vertientes que la forman; y desde luego se presenta como primera investigacion, la del punto de paso de dicha divisoria, que será uno de los mas bajos de la misma. Mas para fijar este punto, debemos tener en cuenta que hallándose los extremos del trazado en cada una de las vertientes, estos se hallan separados de aquel por distancias verticales que es necesario salvar con el correspondiente desarrollo de línea, á fin de no exceder de las pendientes límites; de modo que el problema en este caso, está reducido á determinar el mas conveniente desarrollo de línea tanto en la subida á la divisoria, como en la bajada.

:

Si suponemos que el punto conveniente de paso de la divisoria sea único y en la dirección general del trazado (figura 16), es evidente que el mas conveniente será el $A c B$ como mas directo. Mas si en este trazado la parte $A c$, por ejemplo, resulta con pendientes escesivas, es indispensable aumentar el desarrollo para disminuirlas; bien buscándole en las estribaciones como indica $A d c$ ó recurriendo á un zig-zag. $A m n o c$, para cuyas operaciones, será necesario hacer un ligero tanteo con el eclímetro. Lo mismo decimos respecto á la parte $c B$ del trazado.

Si en vez de un solo punto de paso de la divisoria se encuentran dos ó mas, no debemos desde luego preferir aquel que se halle mas próximo á la dirección general del trazado, sino aquel que se halle en mejores condiciones para desarrollar la línea por una y otra vertiente. Asi por ejemplo (fig. 17) si tuviéramos los tres puntos de paso m, n, o podria muy bien suceder que elegido el punto n como mas próximo á la dirección $A B$, el trazado desde A hasta n ó desde n hasta B resultára en peores condiciones que el $A c d o f q B$ que pasa por el punto o ; y como suponemos la altura de este sensiblemente igual á la del n , el desarrollo por uno y otro paraje será cuando menos de la misma longitud; y este último trazado, podrá tener á igualdad de trayecto menor número de curvas. Ultimamente si todos los puntos de la divisoria se halláren próximamente en las mismas condiciones, solamente tanteos repetidos nos harán conocer cual es el mas conveniente; y tanto en este como en los otros casos, debemos procurar cuanto posible sea, evitar los zig-zags; y entre estos elegir aquellos que nos presenten menores cambios de dirección y por consecuencia el mas pequeño número de curvas, que siempre son trabajosas para la tracción.

CUARTO CASO

Si el reconocimiento de que nos ocupamos tuviéramos que hacerle desde un punto de una de las vertientes de una cuenca á la otra, las mismas consideraciones que acabamos de hacer, deberán tenerse presentes; bien sea que esté fijado de antemano el punto de paso del talweg principal, bien tengamos que elegirle atendiendo esclusivamente al mas conveniente trayecto de la carretera.

En todos estos reconocimientos, debemos dejar algunas señales provisionales que nos indiquen la direccion aproximada de la traza, y tomar algunas anotaciones de los accidentes del terreno para no dudar de la direccion elegida cuando volvamos á él practicando las operaciones topográficas.

Es evidente que estos reconocimientos son mucho mas difíciles, cuando el terreno en vez de ser despejado, se halla cubierto de altas malezas ó árboles que impiden descubrirle á larga distancia, pues aunque las ondulaciones principales ó mas pronunciadas se pueden deducir de las que presentan el conjunto de las copas de estos árboles ó malezas, no se descubren con tanta facilidad los demás detalles que pueden influir en el trazado; ni aun se llega á formar una idea tan cabal de las distancias.

En estos casos, es necesario ejecutar tanteos repetidos, marchando en diferentes alineaciones cuya posicion relativa se fija, para que refiriendo á ellas todos los accidentes del terreno que vayamos descubriendo, podamos formarnos una idea aproximada de él y determinar en consecuencia la zona mas conveniente del trazado; ejecutando tambien si las circunstancias lo exigen, el levantamiento del plano de la localidad en una zona estensa y en direccion de la línea que haya de proyectarse.

Todos estos reconocimientos, darán un resultado mas ó menos satisfactorio; que dependerá del hábito ó práctica del Ingeniero, y del golpe de vista mas ó menos seguro que tenga para apreciar el aspecto del terreno que se inspeccione. En los países quebrados, la mayor parte de las veces serán necesarios repetidos reconocimientos y tanteos para la eleccion del paraje mas conveniente; y aun así, pocas veces sucederá que despues de ejecutado un trazado, no se encuentre la conveniencia de hacer en él alguna modificacion parcial. Por esto recomendamos la mayor escrupulosidad en los reconocimientos, que deben siempre hacerse con mucha detencion, pues de ellos dependen la bondad de los trazados, y que se evite la pérdida de tiempo.

CAPITULO SEGUNDO.

OPERACIONES TOPOGRÁFICAS.

Condiciones
generales.

LAS operaciones topográficas necesarias á la formacion de un proyecto de carretera, tienen por objeto la fijacion definitiva que ha de tener el eje de la misma ó de la zona que las obras han de ocupar, entendiendo por *eje* de una carretera, la línea que pasa por los puntos medios de su anchura, ó que la divide en dos zonas de igual latitud.

Los reconocimientos y operaciones anteriormente descritos, han puesto en el caso de tener elegida la zona del terreno que ha de cruzar la carretera; y solo nos falta fijar en esta zona, el eje de la misma, ó concretar el espacio de terreno sobre el que las obras han de ejecutarse.

Desde luego se comprende, que levantado exactamente el plano del terreno elegido para el trazado, y haciendo en él las nivelaciones convenientes para obtener con todo rigor el relieve de sus accidentes, obtendremos la representacion exacta de la zona que el camino ha de atravesar, y podremos, teniendo en cuenta las condiciones de un buen trazado, fijar en el gabinete la definitiva direccion de la traza ó sea la posicion del eje de la carretera; quedando así resuelto el

problema; y podremos despues trasladar al terreno la traza elegida.

Método ordinario.

Este es el medio general que puede seguirse para el trazado de una carretera, mas para ejecutarle con la mayor sencillez posible, principalmente en terrenos descubiertos y no muy accidentados, el procedimiento que habitualmente se emplea, y que tiene algunas ventajas sobre cualquiera otro, como llegaremos á descubrir, consiste en determinar á la simple vista y fijar prácticamente sobre el terreno, la posicion del eje de la carretera, y tomar esta línea por base de operaciones para referir á ella los diversos objetos y accidentes del terreno que comprende la zona elegida; cuyas desigualdades se determinan por nivelaciones ejecutadas por este eje, y en sentido perpendicular.

Este medio, tiene la ventaja de que la mayor parte de las veces, la directriz elegida en el campo ó la base de operaciones, suele ser el eje definitivo de la carretera, ó cuando mas sufre solamente algunas modificaciones parciales; lo cual se comprende desde luego, considerando que un ojo algo ejercitado puede á la simple inspeccion del terreno apreciar sus detalles, y buscar el paraje mas apropiado; y tanto mejor, cuanto mas escrupulosos hayan sido los reconocimientos practicados.

El trazado de la directriz ó eje de la carretera, no es otra cosa, que el establecimiento en el terreno de alineaciones rectas y curvas, que toman en general el nombre de *tramos*.

Trazado práctico
de alineaciones
rectas.

Elegidos los vértices, ú otros dos puntos cualesquiera de una alineacion recta, son bien conocidos los medios de establecerla prácticamente sobre el terreno; y creemos por lo tanto escusado, el entrar en consideraciones sobre este particu-

lar; y en cuanto á las alineaciones curvas, que sirven para unir unos con otros los tramos rectos, y evitar los cambios bruscos de direccion, vamos á presentar los medios mas sencillos de trazarlas.

Trazado de curvas sobre el terreno.

Curvas circulares.

Las curvas de union pueden ser circulares, parabólicas ó curvas arbitrarias que se aproximan mucho á estas.

El medio mas directo para trazar una curva circular, es el de determinar su rádio, y describir en el terreno con una cuerda de su longitud, la circunferencia tangente á las dos alineaciones; este rádio depende de los puntos de tangencia elegidos y del ángulo de las alineaciones, y además estará limitado por las consideraciones que hicimos al tratar de la influencia de las curvas en todo trazado.

Este medio solo es aplicable para curvas de rádios pequeños, para terrenos llanos y cuando las alineaciones pueden prolongarse hasta su encuentro.

Si el terreno es algo accidentado ó el radio de la curva de grande longitud, puede seguirse el procedimiento que se indica en la (fig. 18) es decir trazadas las alineaciones AB y AC y determinados los puntos de tangencia T y T' á igual distancia del A se divide el ángulo ATT' en partes iguales y dirigiendo las visuales To, Tn, Tm se fijan los puntos o, n, m; se determinan del mismo modo los puntos pqr y el encuentro de las líneas To y T'r, Tn y Tq, Tm y T'p nos darán los puntos x y z del círculo, cuyos encuentros pueden obtenerse prácticamente con cuerdas, ó bien cuando se dispone de dos goniómetros, directamente por medio de las visuales simultaneas dirigidas desde los puntos de estacion T y T'

Cuando no puedan prolongarse las alineaciones hasta su encuentro y estas se hallen trazadas en el terreno, como las

TB y T'c (fig. 19) y se haya fijado el punto de tangencia T, determinaremos el T' trazando la TT' perpendicular á la bisectriz del ángulo de estas alineaciones, y cuya direccion TD, puede fácilmente determinarse, trazando la TC' paralela á la T'C y dividiendo el ángulo BTC' en dos partes iguales. Son tan sencillas estas operaciones y tan patentes los fundamentos de ellas, que prescindimos de hacer aclaraciones.

En este mismo caso y fijados los puntos de tangencia T y T' podemos determinar diferentes puntos m, m', m'' , del arco de círculo, tomando sobre las tangentes los puntos n, n', n'' y determinando la longitud de las ordenadas $nm, n'm', n''m''$, por la espresion $nm = Tp = To - po = R - \sqrt{R^2 - Tn^2}$ en cuya espresion el valor del rádio le determinaremos inmediatamente conociendo la distancia TT' que podemos medir por la espresion $TO = R = \frac{TK}{\cos KTO} = \frac{1/2 TT'}{\cos BTD}$ cantidades conocidas que pueden obtenerse inmediatamente.

Tambien podemos determinar las curvas por ordenadas sobre las cuerdas (fig. 20) con solo observar que $nm = np - mp = \sqrt{R^2 - po^2} - \sqrt{R^2 - TB^2}$

Existen tablas calculadas que facilitan todos estos cálculos y entre ellas las de Chevallot simplifican mucho las operaciones para el trazado de las curvas en los diferentes casos que pueden presentarse; y en ellas se encuentran los valores de las ordenadas y abscisas para determinar prácticamente y por el método que acabamos de indicar, diferentes puntos de las curvas circulares; así como tambien las magnitudes de las líneas trigonométricas naturales, tan convenientes para estas operaciones. En estas tablas, hallarán nuestros lectores cuanto sobre este particular creémos deber omitir, para concretar nuestras consideraciones.

Si fijadas las dos alineaciones queremos trazar una curva que pase por las inmediaciones de un punto dado, ó que sea tangente tambien á otra alineacion, procederémos del modo siguiente (fig. 21). Se trazará desde el punto dado *m* una recta *ab* que con las *DC* y *CE* formen ángulos próximamente iguales, si el punto *m* está sensiblemente equidistante de ambas; ó un ángulo tanto mayor con una de las alineaciones cuanto mas se aproxime á ella. Dividiendo los ángulos *Dam*, *Ebm* en dos partes iguales, tendrémos el centro *o* de la curva; y *on* perpendicular á *ab* será el rádio: pero como en la práctica es difícil poder ejecutar bien estas operaciones, podemos recurrir á los cálculos y tablas, y así obtendrémos directamente los puntos *m*, *p*, *q* de tangencia por las fórmulas siguientes:

$$an = ap = no \text{ tang. } noa = R \text{ tang. } (90^\circ - \frac{1}{2} n \text{ ap})$$

$$bn = bq = ba - an$$

$$ab = an + bn = R \text{ tang } noa + R \text{ tang } nob \text{ de donde}$$

$$R = \frac{ab}{\text{Tang } noa + \text{Tan } nob};$$

Tendrémos así determinados los puntos de tangencia y el rádio de la curva, y podremos si es necesario, determinar puntos intermedios.

Puede tambien emplearse en el trazado de las curvas circulares, el medio indicado en la (fig. 22); para lo cual, llegando con las operaciones por la alineacion *AT* y fijado el punto *T* como de principio de la curva, podemos dirigir una corta alineacion *TC* y tomar en ella el primer punto *m* de la curva, ó bien fijar el rádio de esta y determinar la magnitud *Tm* por la espresion:

$Tm = 2R \text{ sen } \frac{1}{2} BTC$.

Determinado el punto m y dirigidas desde T las visuales Tm, Tm', Tm'' etc. formando ángulos iguales al BTC y tomando desde m, m', m'' etc. las distancias $mm', m'm'', m''m'''$ iguales á la Tm , tendremos los diferentes puntos de la curva; y podremos, llegados á otro punto m'' , continuar las operaciones del trazado siguiendo la tangente $m'''E$.

Tambien podemos conseguir un trazado semejante dirigiendo la Tn (fig. 25) determinando Tm , y trazando desde el punto m el ángulo nmn' , doble del BTn , y tomando $mm' = Tm$, y despues el ángulo $n'm'n'' = nmn'$ y $mm' = mn' = Tm$ y así sucesivamente. El fundamento de estos métodos de trazado, se halla en la medida de los ángulos cuyos vértices se hallan en las circunferencias de los círculos.

Estos últimos métodos de trazado, tienen en la práctica algunos inconvenientes y entre ellos el tener que recurrir á la medicion de muchos ángulos; pero pueden remplazarse del modo siguiente, mucho mas práctico.

Se traza la línea TC (fig. 24) y se fija el punto m ; bien sea á la simple vista, bien con la condicion de que corresponda á la curva de un rádio dado, conforme á lo que hemos espuesto; determinado este punto, se baja la perpendicular Bm , y prolongando la Tm de modo que $mC = mT$, se traza $cm' = 2Bm$ y $mm' = Tm$ y se tiene el punto m' . El punto m'' se determina del mismo modo tomando $m'D = mC$, $m'm'' = mm'$ y $Dm'' = Cm'$; este trazado puede hacerse muy sencillamente con una cuerda, cuya longitud, sea igual á $TCm'm$ y señalando en ella las vértices m, C y m' . Para comprender el fundamento de este trazado, basta tirar la recta mK tangente en m y que divide en dos partes iguales el ángulo CmD

y observar que los triángulos Cmp y pmm' son iguales al TBm .

Por medio de tangentes sucesivas puede trazarse un arco de círculo, tomando (fig. 25) $Ta = ab$ describiendo desde a con el radio ab el arco de círculo bm y tomando en él, el punto m como primero de la curva; se traza ad en la cual se toma $cd = me = am$ se traza dm' y se toma $dm = bm$ y así se continúa para los demás puntos de la curva. Si esta no solo ha de partir de la 1.^a alineacion, sino que ha de ser además tangente á otra ya fijada de antemano, es preciso que la distancia arbitraria bm que hemos tomado, la sujetemos á esta condicion para lo cual, observaremos que

$$bm = 2ab \text{ sen } \frac{1}{2} \text{ } Tam = 2ab \text{ sen } \frac{1}{2} \text{ } Tom.$$

Pero si nos proponemos entre T y T' determinar un número n de puntos de la curva, resultará entonces que $Tom = \frac{T \text{ o } T'}{n+1} = \frac{180^\circ - V}{n+1}$ y por consecuencia sustituyendo, tendremos puesto que $2ab = Tb$

$$am = Tb \text{ sen } \frac{180^\circ - V}{2(n+1)}$$

que nos dá la determinacion de la magnitud bm , tomada antes arbitrariamente.

Fundándose en este método, puede trazarse fácilmente una curva por un medio muy práctico; para esto se toma el region ad (fig. 26) y se divide en tres partes iguales ab, bc, cd , se coloca un brazo em movable con su correspondiente arco md sobre el que se toma la distancia dm arbitraria ó determinada por la última fórmula. Poniendo el punto q en el punto de tangencia y ad en direccion de la última alineacion, tendremos el punto m y el c ; trasladado el region de modo que el punto a venga á c y b á m , tendremos m' y así sucesivamente para los demás puntos.

Podríamos presentar otros diferentes medios para el trazado de las curvas circulares sobre el terreno, mas nos abstemos de ello, porque suponemos que se poseen los conocimientos necesarios de topografía, para resolver, despues de lo que hemos dicho, cualquier problema que se presente y porque sería además difuso continuar con el trazado de los arcos de círculo.

Solamente añadiremos que el *Manual de caminos del Ingeniero D. P. C. Espinosa*, el guia práctico para el trazado de caminos de hierro de M. Vindrinet, y las tablas de Chevallot, Prus, Bison y algunas otras obras nos dan cuantos detalles se deseen sobre este particular.

Curvas
parabólicas.

El trazado de la parábola tangente á dos alineaciones puede tambien hacerse de diversos modos:

1.º Siendo MC y NC (fig. 27) las alineaciones y T y T' los puntos de tangencia, se traza la TT' se une su punto medio con el vértice c y se divide la AC en dos partes iguales, y el punto medio B, es de la curva. Si por este punto se traza DE paralela á TT' esta será otra tangente á la parábola, y si se tiran las TB y T'B se unen sus puntos medios F y G con los D y E, los puntos medios *m* y *n* de las rectas DF y GE, serán de la parábola; y del mismo modo pueden determinarse mayor número de puntos.

Este método está fundado en que en la parábola, la subtangente contada sobre un diámetro cualquiera, es doble de la abscisa; y por lo tanto, sobre el diámetro CA, B será el punto de la curva y DE, paralela á TT', su tangente.

2.º Las tangentes TO y OT' (fig. 28) se dividen en el mismo número de partes iguales; se estienden cuerdas T1 y 22 y el punto de interseccion *m* es de la curva, se trasporta

la T1 á 35 y se tiene el punto m' , y pasando la 22 á la 44, se obtiene el punto m'' y así sucesivamente.

Con solo banderolas, puede fácilmente ejecutarse este trazado.

Es evidente que este método nos dará la parábola con tanta mayor exactitud, cuantas mas divisiones hagamos en las tangentes; y se aproximará tanto mas al vértice o , cuanto en mayor número sean tambien estas; siendo el límite de esta aproximacion el punto K medio de la recta OM .

Curvas arbit-
rarias.

Podemos emplear tambien curvas arbitrarias para unir dos alineaciones, y estas pueden trazarse prácticamente tomando sobre la alineacion AT (fig. 29) una distancia arbitraria Tp , trazando el arco pm desde el punto T , y tomando una magnitud pm que nos dará el segundo punto m de la curva; trazando Tm tomando $mq = Tp$ y $qm = qn$ tendremos el tercer punto n ; y así sucesivamente. Si por este trazado, la curva resultante no se aproximara á ser tangente á la segunda alineacion BO , se aumentaría ó disminuiría la distancia elegida pm , segun que la curva resultara interior al angulo de las dos alineaciones ó que cortara á la alineacion BO . Dos tanteos bastarán casi siempre para trazar esta curva; conveniente en muchos casos, y particularmente en terrenos escabrosos y llenos de obstáculos que pueden impedir ejecutar los métodos anteriores.

Es evidente que en cada caso puede adoptarse el método y la curva que se crea mas conveniente; sirviéndonos las parábolas siempre que las tangentes ó las distancias del punto de encuentro de las alineaciones á los de tangencia de las curvas, sean desiguales, y siempre que queramos sin variar los puntos de tangencia, aproximarnos al encuentro de las ali-

neaciones, mas que lo que resultaría con arco de círculo; pues fácilmente puede demostrarse que la parábola TmT' (fig. 30) tangente en T y T' á las dos alineaciones se aproximará siempre á C mas que el arco de círculo TnT' tangente en los mismos puntos; en el supuesto de que $TC = T'C$.

En efecto en la parábola $Cm = mp = \frac{1}{2} Cp$; y en el círculo $Cn = Cp - pn = Tc \cdot \cos a - (no - po) = Tc \cos a - R(1 - \sin a) = Tc \cos a - Tc \frac{\sin a}{\cos a} (1 - \sin a)$; de consiguiente $Cn - Cm = \frac{1}{2} Tc \cos a - \frac{Tc \sin a}{\cos a} + \frac{Tc \sin^2 a}{\cos a} = \frac{Tc}{2 \cos a} (\cos^2 a - 2 \sin a + 2 \sin^2 a)$ ó $Cn - Cm = \frac{Tc}{2 \cos a} (1 - 2 \sin a + \sin^2 a) = \frac{Tc}{2 \cos a} (1 - \sin a)^2$; pero como el segundo miembro de esta ecuacion es siempre positivo, resulta $Cn > Cm$ ó que el vértice de la parábola se aproxima mas al vértice del ángulo, que el arco de círculo.

Parece escusado entrar en mas detalles acerca del trazado de las curvas, y por lo tanto vamos á pasar, reanudando nuestras consideraciones, á la descripcion detallada de las operaciones topográficas convenientes, para llevar á cabo un trazado de carretera; deteniéndonos en los detalles prácticos de las mismas.

Descripcion detallada y práctica de las operaciones topográficas.

Es evidente que cuando el terreno sea llano, no habrá duda en la eleccion de los vértices de cada uno de los tramos, y estos serán próximamente, los mismos que en el reconocimiento habremos elegido y en los cuales colocaremos ahora estacas ó piquetes numerados, cuyas señas anotaremos en un registro, para que en cualquiera ocasion podamos encontrar dichos puntos aunque las estacas hayan desaparecido, como ordinariamente acontece.

Detalles de las
operaciones topo-
gráficas.

Fijados estos vértices y clavadas en ellos banderolas, se procede al establecimiento de las alineaciones ó tramos; fijando algunas intermedias y á distancias convenientes, para que siendo claramente descubiertas, puedan los encargados de la medicion, seguir exactamente los puntos del terreno que la alineacion atraviesa.

Determinada así la primera alineacion, y el punto de partida de nuestras operaciones; se fija su direccion midiendo el ángulo que forma con la meridiana magnética, si se hace esta operacion con la brújula; ó el que forme con un objeto invariable de posicion, si se ejecuta con un goniómetro cualquiera; y se procede á la medicion y nivelacion, que puede ejecutarse simultáneamente.

Como suponemos el terreno llano, no necesitaremos perfiles trasversales muy inmediatos, sino solamente en aquellos puntos, en que la forma ó inclinacion del terreno cambie aparentemente. Estos perfiles trasversales que en terrenos llanos, bastará que se estiendan cuando mas á 15 ó 20 metros de distancia de uno y otro lado del eje, podrán determinarse al propio tiempo que el perfil ó nivelacion longitudinal, ó separadamente. Si se ejecutan al propio tiempo, el que practica la nivelacion longitudinal, dirige desde la estacion correspondiente visuales á los diferentes puntos del perfil trasversal en que se coloca la mira, y puede por consecuencia en esta estacion, comparar las alturas de estos diferentes puntos con la cota correspondiente del perfil longitudinal; mas si se ejecuta separadamente, el Ayudante ó auxiliar encargado de esta operacion, puede al propio tiempo que fije la posicion de cada perfil trasversal con respecto al longitudinal, tomar los datos convenientes para referir á la línea de

operaciones, los diversos accidentes y objetos comprendidos en la zona que se atraviere con el trazado.

Ejemplo.

Para formarse una idea cabal de todas estas operaciones, nos pondremos en el caso de tener que practicarlas en una alineacion ya establecida tal como la AB (fig. 51.)

Fijo el punto de partida A y establecida la alineacion AB se mide el ángulo MAB que la AB forma con la meridiana magnética, ó el DAB que forma con la visual dirigida á un objeto fijo D. Se anota este ángulo en la libreta y se procede á la medicion y nivelacion. Dos peones adiestrados, estienden la cadena desde el punto A hácia el B y empiezan la medicion; al propio tiempo que con el nivel, se hace la primera estacion en *a*, dirigiendo las correspondientes visuales á las miras colocadas en los puntos A y *b*; el primero de partida, y el segundo elegido convenientemente en la primera ondulacion del terreno. Cuando se ha dirigido la segunda visual *a b* la cadena habrá llegado al punto *b* y por lo tanto conoceremos la distancia *Ab*; y podremos, con las cotas de los puntos A y *b* anotarla en la libreta. Continuada la medicion y trasladado el nivel á la segunda estacion *c* harémos las mismas operaciones; y obtendremos las cotas de los puntos *b* y *d* y la distancia que les separa; lo mismo decimos de las demás estaciones, desde las que podemos determinar las correspondientes cotas y distancias.

Mas si llegando al punto *d* queremos en él obtener un perfil trasversal, podemos con la cinta fijar su direccion sujetando en *d* el extremo de ella y estendiéndola de un lado y otro. Colocadas miras en los puntos 1, 2, 3 y 4 convenientemente elegidos, podemos desde la estacion *c* dirigir las visuales *c 1*, *c 2*, *c 3* y *c 4* que nos darán las correspondientes co-

tas que con la *d* ya observada, nos dará la forma del perfil transversal 1, 4 y su posición con respecto al longitudinal.

Del mismo modo continuaremos en las estaciones *e*, *g* etc. teniendo siempre presente que al propio tiempo que se hace la nivelación, debe irse anotando los diferentes accidentes del terreno que se encuentran en la zona que el trazado atraviesa y á las distancias á que se hallan; así por ejemplo en el caso presentado en la figura, anotaremos, que á la distancia *A O* del origen se encuentra el camino *EF*; á la *Am* una casa á la derecha y á la distancia *mn*, y en *K* un arroyo cuyo caudal de aguas podrá exigir una obra de fábrica determinada; estas indicaciones las de la naturaleza del terreno que se atraviere, los lindes principales de las propiedades, las veredas, caminos y carreteras que se cruzen y las observaciones referentes á las dimensiones de las obras de fábrica que se necesiten en los pasos de agua que hayan de salvarse, deben constituir las apuntaciones que se hagan en las libretas; considerando siempre que el objeto principal, es tener una idea cabal de la zona de terreno que el trazado cruce.

Como todos estos numerosos detalles no pueden practicarse por una sola persona y es preciso además llevar todas las apuntaciones con la debida separación y claridad para que puedan ser fácilmente comprendidas en el gabinete, deben subdividirse estas operaciones, y prepararse las libretas y estados de nivelación de un modo conveniente.

En el caso que nos ocupa de un país llano, puede el encargado de la nivelación ejecutarla completamente, llevando las libretas de nivelación longitudinal y transversal, y anotando en la casilla de observaciones, las referentes á los pasos de agua, que se escribirán en las líneas de las cotas cor-

Orden en los
trabajos.

:

Perfil longitudinal.

Arrumbamientos.	Estaciones.	Distancias parciales.	ALTURA DE MIRAS.		DIFERENCIAS.		Cálculos.	Cotas finales.	OBSERVACIONES.
			Atrás.	Adelante.	En +	En -			
4	2	5	4	5	6	7	8	9	10
AB							100	100	Empieza en el pueblo de Villanueva.
42° 10'	a	Ab	0,72	1,40		0,68	$\frac{0,68}{99,32}$	99,32	Tierras de labor.
	c	bd	1,02	1,84		0,82	$\frac{0,82}{98,50}$	98,50	
		do	0,52	1,25		0,75	$\frac{0,75}{97,77}$	97,77	En la de adelante camino E F.
	e	of		0,84	0,41		$\frac{0,41}{98,18}$	98,18	
		fm	1,62	0,70	0,92		$\frac{0,92}{99,10}$	99,10	En la de adelante y 2 ^m á la derecha casa de....
	g	mh		1,20		0,50	$\frac{0,50}{98,60}$	98,60	A la derecha una pequeña colina.
		hk	1,20	0,50	0,70		$\frac{0,70}{99,30}$	99,30	En la de adelante arroyo de....
BC	l	KB		0,40	0,10		$\frac{0,10}{99,40}$	99,40	necesita una alcantarilla de 1 m, 90 luz.
62°		Bp							Vértice.

Este estado en el que hemos consignado las anotaciones conforme al ejemplo que hemos presentado en la (fig. 31) nos hará ver el modo de llevar estas apuntaciones, con solo que le estudiemos un momento en presencia de la citada figura, lo cual nos evitará el tener que entrar en esplicaciones detalladas que juzgamos innecesarias.

Para los perfiles trasversales pueden tambien formarse los estados de diferente modo; pero vamos á concretarnos á presentar el siguiente que hemos usado en los casos en que al propio tiempo que la nivelacion longitudinal hemos ejecutado los trasversales. Este estado se halla redactado de acuerdo con el anterior y con la misma figura.

Perfiles trasversales.

ESTACIONES á que corresponden.	ALTURAS DE MIRA.			DISTANCIAS AL EJE		CALCULOS.	OBSERVACIONES.
	En el eje.	Izquierda.	Derecha.	Izquierda.	Derecha.		
C	1,84	1,20	1,80	6	10		Tierra vegetal.
		1,06	2,00	14	18		
g	0,70	1,50	0,50	16	8		Tierra compacta arcillosa recu- briendo la ro- ca caliza.
			0,10		20		

A la simple vista se ve que el primer perfil trasversal, corresponde á la estacion *c* y al punto del eje ó línea de operaciones que tiene por cota 1,84, y que en el estado del perfil longitudinal corresponde á la distancia *bd* ó sea el punto *d* de la figura 31. Fácilmente podremos construir este perfil

trasversal, cuyas cotas comparadas con la del eje, las deducirémos por medio de sencillas operaciones aritméticas, que conviene ejecutar en la casilla que fijamos en este estado para *cálculos*; á fin de poder rectificar siempre y con facilidad cualquiera equivocacion que se cometa.

En nuestras libretas, hemos usado los dos últimos estados que acabamos de presentar, colocando el primero en la 1.^a página, y al dorso este último; logrando por este medio mayor facilidad, para referir los puntos comunes á las nivelaciones.

Ultimamente, para el encargado de la medicion, puede formarse un cuaderno con las casillas siguientes:

Distancias.

DISTANCIAS AL ORIGEN.	DISTANCIAS PARCIALES.	OBSERVACIONES.
A b	a b	Empieza en tierras labradas.
A d	b d	,
A o	d o	Camino E F.
A f	o f	Siguen tierras labradas.
A m	f m	A la derecha una casa.
A h	m h	Empieza monte bajo.
A k	h k	Arroyo de.....
A B	k B	Termina la primera alineacion.

Si teniendo á la vista la fig. 31, recordamos la marcha que ya hemos indicado para las operaciones, y examinamos

comparándolos, estos tres últimos estados, comprenderemos claramente el modo de llevar todas las anotaciones y escuchamos por lo tanto entrar en mayores esplicaciones.

Levantamiento
de planos.

Para completar el estudio de la zona de terreno que atraviesa el trazado, falta la fijacion de los objetos que encierra, ó sea el levantamiento del plano; cuya operacion podrá hacerse tambien al propio tiempo que la nivelacion y como ya hemos indicado, si siendo muy despejado el terreno, son en pequeño número los objetos que se descubren y que han de referirse por rumbo y distancia, ó distancias solamente, á la línea de operaciones; mas si los objetos que se presentan son muy numerosos ó fuera conveniente subdividir mas las operaciones, puede levantarse el plano separadamente con cuantos detalles se deseen, refiriendo los objetos á la línea de operaciones y á las estacas numeradas, que deben colocarse en los puntos notables, los cuales estarán fijos tambien en la nivelacion longitudinal; formando además los correspondientes croquis del terreno, con las observaciones necesarias, referentes á la clase de tierras que se atraviesen, sus lindes, su cultivo y circunstancias, nombres de los pueblos mas inmediatos y su posicion, y en fin cuantas noticias se juzgue oportuno reunir, para formarse una idea cabal de la localidad.

Bastan estas consideraciones y los conocimientos que debemos suponer adquiridos en topografía, para hallarse en el caso de ejecutar un trazado de carretera en un país llano; ó mejor dicho, para obtener la direccion y datos necesarios para llevar á cabo su proyecto, y vamos por lo tanto á pasar á considerar los trazados cruzando terrenos quebrados.

Terrenos accidentados.

Las dificultades se aumentan con los accidentes del país

que haya de cruzarse, mas para ponernos en el caso de vencer todas las que se presenten, vamos á considerar ahora, los mismos casos que presentamos al tratar de los reconocimientos; creyendo abrazar así, todas las circunstancias que en estas operaciones pueden presentarse.

Trazado siguiendo un talweg ó una divisoria.

Cuando la zona elegida en el reconocimiento, sigue la proximidad y direccion de un talweg ó una divisoria, las operaciones serán en un todo iguales á las que ya hemos indicado, teniendo especial cuidado, y mas particularmente, cuando el trazado sigue la falda de las laderas, en dirigir las alineaciones de modo que en lo posible se corten los cursos de agua en ángulo recto; evitando tambien que el encuentro de dos alineaciones sucesivas, se halle en los mismos arroyos ó barrancos; sobre todo, cuando estos sean de alguna consideracion, á fin de evitar que se salven por alineaciones curvas, tan poco apropiado para el conveniente emplazamiento y construccion de las obras de fábrica.

Trazado entre una divisoria y un valle.

Cuando la zona elegida en el reconocimiento, desciende desde una divisoria á un valle ó sube desde este á aquella, y aparece una pendiente que á la simple vista se duda si escede ó no al límite prefijado para estas, la primera operacion que tenemos que ejecutar antes de proceder á la nivelacion, es la fijacion definitiva del eje de la carretera ó la base de operaciones para nuestro proyecto; de modo que sus pendientes no escedan del citado límite.

Como en estos casos y por lo que hemos dicho en los reconocimientos (pag. 44) habrémos determinado aproximadamente el trazado, tendrémos fijos el punto de la divisoria y del valle y tan solo tendrémos que fijar el trazado conveniente entre ambos puntos.

Para ejecutar esta operacion podemos por medio del eclímetro descender con la pendiente límite desde la divisoria al valle, y volver á subir desde este á la divisoria; en estos tanteos pueden suceder tres casos.

1.° Que como representa la (fig. 32) el tanteo *Amop* verificado con la pendiente límite desde el punto de partida A hácia el B, descienda á la altura de este punto antes de llegar á él; lo que nos indicará que el trazado entre los puntos A y B no llegará á la pendiente límite. Del mismo modo subiendo desde B hácia A tendremos que el trazado límite *BqrS*, llegará al punto S de la curva de nivel antes que al A, y por consecuencia entre ambos trazados límites que deberemos haber señalado provisionalmente, con montones de tierra, piedras etc. podremos fijar la direccion definitiva BDC A adaptándola á las diferentes ondulaciones del terreno, para conseguir así la mayor economía posible.

2.° Si el trazado *Amnop* (fig. 35) ejecutado con el eclímetro y la pendiente límite, llega al valle en un punto *p* muy inmediato al fijo B, el trazado definitivo puede seguir próximamente por los puntos señalados en el tanteo, siempre que circunstancias de otra naturaleza, como el disminuir la magnitud de una obra de fábrica, evitar grandes desmontes ó terraplenes etc. no aconseje á aumentar el desarrollo, como por ejemplo, hemos representado en la fig. 33 llevando el trazado *nDocB* separado del *noB*.

3.° Ultimamente si el tanteo *Amnp* (fig. 34) terminára en el valle en un punto *p* mas distante del A que lo está el B, ó lo que es lo mismo que el trazado directo entre A y B resultara con una pendiente escesiva, entonces, despues de haber practicado con el eclímetro los dos tanteos *Amnp*

:

y *Bqrst*, trazáramos desde el punto B ó desde el A otro tanteo con la pendiente límite dirigiéndose á encontrar los tanteos anteriores, y siguiendo el terreno mas conveniente; despues de lo cual, la línea de operaciones podría ya señalarse siguiendo aproximadamente el tanteo *A m n D B* ó el *A C r q B*, ó en fin si existiera en un punto intermedio de los dos primeros tanteos, un paraje mas conveniente para unirlos, trazáramos por él una línea EF y adoptaríamos como direccion del trazado la *A m F E q B*, ó la combinacion mas conveniente entre todos los tanteos ya ejecutados.

Detalles y precauciones.

Determinada en todos estos casos la direccion de la línea de operaciones ó eje del trazado, se establecen banderolas y estacas que fijen exactamente la posicion de las alineaciones y se procede inmediatamente á su medicion y nivelacion longitudinal y trasversal de la zona, del modo que hemos indicado.

En la medicion de las alineaciones, debería realmente procurarse mantener la cadena horizontal, ó bien disminuir en cada cadena una longitud que representará, para cada pendiente, el exceso de la longitud inclinada sobre su proyeccion horizontal. Mas además de que lo primero sería imposible, en las pendientes admitidas en las carreteras, nunca la diferencia entre la medicion inclinada y la distancia reducida al horizonte, podrá ser una cantidad que pueda influir mucho en el grado de exactitud que los proyectos de las carreteras deben tener; pues aun suponiendo una pendiente del 6 por ciento, solo habrá cuando mas un error de dos metros en cada kilómetro, el cual es despreciable atendiendo á los medios de medicion que se emplean.

Las libretas para la nivelacion pueden llevarse del mismo

modo que hemos indicado; pero si el terreno exigiera perfiles trasversales muy frecuentes, ó como sucederá muchas veces, se verificára el descenso siguiendo una media ladera, que impidiera hacer la nivelacion de los perfiles trasversales al propio tiempo y desde las mismas estaciones que la del longitudinal, se dejaría la nivelacion de aquellos á cargo de un Ayudante, que podria llevar una libreta con este objeto, y como ya hemos indicado; procurando siempre referirlos cuidadosamente á los puntos del perfil longitudinal, bien sea señalando las distancias de unos á otros, bien fijando al hacer la nivelacion longitudinal estacas numeradas en los parajes en que se necesitan los perfiles trasversales, no olvidándose en uno y otro caso de comprobar con frecuencia estas referencias de ambas nivelaciones.

Perfiles trasversales.

En muchos casos convendrá en vez de estados de nivelacion, llevar los perfiles dibujados y acotados; en cuyo caso, podrá disponerse un cuaderno en que trazada en su mitad una línea que nos marque la base de operaciones, y dos ó mas paralelas por cada lado que suponemos por ejemplo á las distancias de 10 y 20 metros de ella, formemos los perfiles del modo que la (fig. 35) indica y que creemos escusado explicar, por comprenderse á su simple inspeccion.

Tambien pudiera acontecer que siendo muy rápidas las vertientes de las medias laderas, fuera muy engorroso y difícil sacar los perfiles trasversales por medio del nivel de aire ó agua, en cuyo caso podríamos obtenerlos por medio de reglones y el nivel de albañil, y aun en muchos casos bastará á un ojo ejercitado colocar los reglones horizontales á la simple vista, y medir las diferencias de altura por medio de las miras. En este último caso, los perfiles trasversales se

dibujarán de un modo semejante al anterior, si bien acortando las distancias horizontales y verticales, para cada posición horizontal de los reglones.

Trazado desde una vertiente á otra.

Después de lo que acabamos de esponer, y de lo manifestado en las páginas 45, 46 y 47 al hablar de los reconocimientos para el paso de una divisoria ó de un talweg, fácil nos será ejecutar un trazado cuando tengamos que pasar de una vertiente á otra, pues ambos casos no son mas que una reunion del que acabamos de explicar, puesto que teniendo elegida la garganta ó punto conveniente de paso, desde este, tendremos que ejecutar dos trazados comprendidos en el caso anterior. Por esta razon nos concretaremos á presentar algunas advertencias que no deben perderse de vista.

Zik-zaks y desarrollos del trazado.

En primer lugar debe siempre procurarse evitar el empleo de los zik-zaks hasta donde sea posible, porque la repeticion de las curvas pronunciadas son un entorpecimiento notable para la circulacion; y cuando esto no sea posible ó conveniente, establecer siempre las curvas de estos trazados horizontalmente, para evitar vueltas rápidas y en pendiente, que son muy perjudiciales y peligrosas para el tránsito. Por estas razones se debe siempre que sea posible, buscar estribaciones ó cuencas secundarias, para establecer un desarrollo conveniente y lograr salvar la altura de las divisorias con curvas de grandes radios, y de pequeña amplitud; lo cual siempre se preferirá, cuando el desarrollo de línea que resulte sea igual ó poco mayor que el que se necesita para el empleo de los zik-zaks. La naturaleza é importancia de las obras que para ambos trazados haya que ejecutar, pueden tambien influir en la preferencia de un trazado sobre el otro.

Situacion de las curvas.

Debemos tambien para los cambios de direccion, buscar

las estribaciones ó relieves del terreno mas convenientes para el establecimiento de las curvas, procurando que estas resulten siempre que sea posible en desmonte; teniendo presente, que cuando sean de pequeño radio, será menester dar á la carretera en estos parajes, mayor anchura, á fin de favorecer algun tanto el movimiento de la circulacion.

Casos en que
se encuentra un
obstáculo.]

El señalamiento del eje y todas las demás operaciones que constituyen el trazado, las hemos considerado suponiendo que podemos marchar sin obstáculo alguno por todos los terrenos elegidos; mas como algunas veces nos encontraremos con bosques muy espesos, propiedades cercadas ú otros obstáculos que por dificultad ó evitar grandes perjuicios, no puedan desde luego hacerse las operaciones topográficas cruzando por ellos, no obstante que convenga que el trazado las atraviase, es necesario en este caso proceder de un modo diferente, para lograr determinar la forma y relieve del terreno que la carretera ha de cruzar.

En la (fig. 56) hemos representado este caso; la recta *Ma* es la alineacion de la carretera, la cual no pudiendo prolongarse, ni continuar en su direccion las operaciones topográficas, es menester levantar el plano del obstáculo, y dirigiendo las nivelaciones por los caminos y veredas practicables *abcpe*, *cde* y *dg* podremos en el gabinete representar el plano de esta localidad con los caminos y veredas niveladas; y por consecuencia conoceremos las cotas y posicion de los puntos *p*, *d*, *a*, en que el perfil longitudinal corta á estos caminos, pudiendo despues continuar las operaciones del modo ya indicado.

Terrenos accidentados.

Ultimamente, si el terreno presentára tantas complicaciones que á la simple vista no permitieran juzgar de la direccion del trazado mas conveniente, ó que fueran necesarios muchos tanteos repetidos para conseguirlo, y por lo tanto mucho empleo

de tiempo; ó bien se juzgára de mejores resultados hacer todos estos estudios en el gabinete, sería entonces indispensable levantar el plano exacto de la localidad con mayores detalles, determinando las curvas de nivel comprendidas en la zona de terreno elegida; en cuyo caso las operaciones topográficas que habría que practicar, se llevarían á cabo por los procedimientos generales que enseña la topografía; y despues el trazado de la carretera, se ejecutaria en el gabinete del modo que mas adelante indicaremos.

Observaciones.

Concluirémos todas estas consideraciones respecto á las operaciones topográficas, esponiendo algunas observaciones que es preciso no perder de vista en la ejecucion de un trazado.

Muros de sostenimiento.

En primer lugar, es muy óbvio que cuanto mayores sean los accidentes del terreno, tanto mayor número de perfiles trasversales deberán tomarse, y estos serán de tanta mayor estension cuanto que las vertientes por las que cruce la carretera sean mas rápidas; debiendo no perder de vista, en este último caso, que cuando los terrenos tengan mucha inclinacion, será indispensable ó conveniente en muchos casos, la construccion de muros de sostenimiento. Las consideraciones que nos decidirán para la construccion de estos, serán: la inclinacion de las laderas, la facilidad ó proximidad del punto de estraccion del material con que han de construirse, la naturaleza del terreno para su cimentacion; y sobre todo el resultado de la comparacion entre el coste de estos muros y el de los terraplenes que los reemplazarian; teniendo en cuenta el valor del terreno que se ocupe en cada caso. Estas consideraciones debemos tenerlas presente para hacer, durante el trazado, los reconocimientos y anotaciones que convengan para decidir en cada caso la obra mas oportuna.

Datos que deben adquirirse.

Si á todos estos datos y operaciones practicadas, agregamos

las exploraciones de los terrenos, las observaciones hechas sobre los cursos de agua, los datos tomados acerca de la riqueza y poblacion de los pueblos inmediatos, y su distancia aproximada á la carretera, y el valor medio de las diferentes propiedades que hayan de espropiarse, tanto rústicas como urbanas, tendrémos cuantas observaciones serán necesarias para deducir la utilidad de la via que se proyecta y su coste.

Exploracion de
los terrenos.

Las exploraciones de los terrenos tendrán por objeto saber la naturaleza de las rocas que será necesario remover, ó bien juzgar con seguridad de los terrenos sobre que hayan de asentarse las obras de fábrica.

Para lo primero, la simple inspeccion del terreno y el reconocimiento de las rocas que aparecen en los cortes, ó que la desnudacion ha puesto á descubierto principalmente en los barrancos, etc., unida á los conocimientos geológicos referentes á la formacion de terrenos, bastan casi siempre para formarse una idea aproximada de la dureza y circunstancias de las rocas que haya que desmontar; mas si estas investigaciones no satisficieran y no existiera tampoco en la localidad escabaciones, pozos, etc., que puedan suministrar las indicaciones que se deseen, es indispensable recurrir entonces á los sondeos; y en estos debe tambien descansar el proyecto de las fundaciones de toda obra, y que deberán ser tanto mas escrupulosos, cuanto mayor importancia tenga.

Cursos de agua.

Las observaciones, respecto á los cursos de agua, deben referirse á la cantidad que pueda reunirse en ellos, á fin de proporcionar á la obra que se construya la desembocadura ó el claro que necesite para dar fácil desagüe á la máxima cantidad que á ella pueda afluir.

Desagües de las
obras de fábrica.

Para los cursos de agua permanente, como los rios, cana-

les, etc., su régimen ordinario, las observaciones, las noticias adquiridas respecto á sus mayores avenidas y la comparacion con otros puentes ya construidos, nos darán las dimensiones de la desembocadura de la obra que haya de proyectarse; pero para los cursos de agua de pequeña entidad ó talwegs en donde se reunen las aguas pluviales, solamente las noticias que se adquieran en la localidad, unidas á la observacion de la estension de terreno que vierte sus aguas á él, podrán dar una idea de la entidad de la obra; pudiéndose considerar como regla de alguna aproximacion dar á estas obras 0,50 de anchura por cada 1.000 hectáreas que comprendan sus vertientes en terrenos llanos y hasta dos metros por cada 1.000 hectáreas, en terrenos muy escabrosos y por consecuencia de fuertes vertientes.

Estas reglas que son deducidas de la práctica, no tienen por lo general una grande aplicacion, pues las mas veces, las señales halladas, las noticias adquiridas de los naturales del pais y sobre todo la repetida inspeccion de las obras de las carreteras, enseñan á fijar con la aproximacion que se requiere las dimensiones convenientes de estas pequeñas obras.

Riqueza, poblacion y valores de los terrenos.

Respecto á las noticias referentes á la riqueza, y poblacion de los pueblos, las hallaremos en los datos estadísticos publicados por el Gobierno, en los archivos de las Diputaciones y Ayuntamientos y en las noticias particulares que se puedan adquirir; y por estos mismos medios podremos averiguar los valores de las propiedades que se crucen.

Todas estas noticias unidas á los datos tomados por medio de las operaciones topográficas, forman los elementos necesarios para poderse formar una idea cabal de la carretera que se proyecta, y poder proceder inmediatamente á su exacta representacion y descripcion que es lo que constituye los trabajos de gabinete.

TERCERA PARTE.

TRABAJOS DE GABINETE.

Los trabajos de gabinete constituyen la redaccion completa del proyecto de carretera.

Aunque parezca ocioso hacer ciertas indicaciones , no queremos dejar de presentar algunas , y de recordar su conveniencia, para procurar en cuanto nos es dable , que el encargado de un trazado aproveche , lo mejor posible , el tiempo ; evite viajes infructuosos y entorpecimientos en un proyecto , principalmente cuando el que le ha de llevar á cabo no se halla muy habituado á esta clase de operaciones.

Tomados los datos en el campo , se procurará diariamente , si fuere posible , el repasar las libretas é introducir en ellas las aclaraciones que sean necesarias , señalando con tinta todas las anotaciones que se hayan hecho con lapiz , á fin de evitar la confusion ; y al mismo tiempo , convendrá tambien verificar compro-

:

baciones, para que en el caso que resulten errores ó dudas poder solventarlas al día siguiente en la localidad, practicando si fuere necesario, un nuevo reconocimiento al paraje de la duda, y aun repetir las operaciones y los asientos de la libreta cuando así lo exija la claridad; pues, se comprende desde luego, cuántos inconvenientes resultarían y cuánto sería el tiempo perdido, si trascurridos algunos días, y distantes de la localidad, llegáramos á encontrarnos faltos de datos, ó con anotaciones dudosas ó equivocadas.

Por estas razones en las operaciones topográficas, debe siempre procurarse tomar mayor número de datos de los que verdaderamente necesitamos; no solo para que puedan reemplazar á los que por un olvido ú otra circunstancia nos falten, sino tambien para que sirviendo de comprobacion, nos patenticen la exactitud del trabajo ejecutado. Y estos datos, deberán ser tanto mas numerosos y esmerados, cuanta mayor sea la escabrosidad del terreno, ó cuanto mas dificultades presente la eleccion definitiva del terreno que ha de ocuparse con las obras de la carretera que se proyecta.

Formadas las libretas con todos los datos y anotaciones enumeradas, se puede pasar á la redaccion del proyecto; es decir, á la formacion de los planos, perfiles, presupuestos y demas documentos necesarios para presentar una idea cabal de la bondad de la obra proyectada, y del coste é importancia que pueda tener.

CAPITULO PRIMERO.

PLANOS Y PERFILES.

Los planos y perfiles tienen por objeto la representación gráfica de la zona del terreno que atraviesa la carretera y la de los proyectos de todas las obras necesarias para llevarla á cabo.

Planos.

La formación del plano se empieza por la representación de la línea de operaciones ó sea el presunto eje de la carretera; para lo cual deducirémos de las libretas las longitudes de cada alineación, bien sea sumando las distancias parciales de las estaciones comprendidas entre cada dos rumbos ó cambios de dirección, bien sea tomando la distancia desde el primer vértice al origen como longitud del primer tramo, y las diferencias entre las distancias al origen de dos vértices consecutivas para los demas, si en las libretas se han consignado las distancias al punto de partida. Así en el caso que hemos presentado en el estado de la pág. 64 obtendrémos desde luego la magnitud del primer tramo AB sumando las distancias parciales de la casilla (3) Ab , bd , etc. hasta el vértice B en que empieza la Bc cuya longitud obtendrémos del mismo modo y que formará con la anterior un ángulo de $62^{\circ} - 42^{\circ} + 10' = 19^{\circ} + 50'$. Del mismo mo-

do continuaremos deduciendo las longitudes de las diferentes alineaciones y su direccion ; y trazándolas en el papel arregladas á una escala , obtendremos la representacion exacta de la línea seguida en el trazado.

Es evidente que si el terreno es muy inclinado y las longitudes anotadas en la libreta han sido obtenidas con la cadena, será menester reducirlas al horizonte ; mas por lo que ya hemos dicho en la página 70 raras veces tendremos que tener en cuenta esta circunstancia.

Podrá suceder que en algunos parajes hayamos tenido que llevar la nivelacion y demas operaciones , siguiendo una direccion curvilínea ó sea la curva trazada para unir dos alineaciones consecutivas; en cuyo caso, es preciso que marquemos en el plano esta misma curva , de la cual conoceremos la longitud del rádio ó la de las tangentes, que deberemos haber consignado en las libretas ; conoceremos tambien su longitud por la de las estaciones que comprenda , pudiendo en consecuencia describirla fácilmente en el plano.

Dibujados así en el papel la posicion y magnitud de los diferentes tramos , é indicados en sus vértices , los números que correspondan á las estacas elevadas en el terreno , señalaremos los puntos en que los diversos cursos de agua les cortan , siguiendo las anotaciones de las libretas ; los caminos que se crucen , y en general todos los accidentes ; los cuales representaremos dibujados y anotando en ellos sus nombres respectivos , que constarán tambien en las observaciones de la libreta.

Ultimamente , completaremos el plano de la zona que el trazado ha de atravesar , señalando en él los objetos que en las observaciones ó los croquis formados consten como fijados á la línea de operaciones seguida , así como tambien las curvas de

nivel y demas detalles minuciosos que en parajes determinados hayamos podido tomar para asegurarnos mas y mas de la buena eleccion del trazado que se proyecta.

Perfiles.

Representado así el plano del terreno, pasaremos á la formacion de los perfiles que nos han de marcar las ondulaciones ó relieve del mismo.

Perfil longitudinal

La primera operacion para obtener el perfil longitudinal, será el determinar las cotas de cada punto nivelado de la línea de operaciones, refiriéndolas todas á un plano de nivelacion. Fácil y conocido es el modo de obtener estas cotas, mas para no omitir el dar una idea patente de ello, hemos ejecutado en el estado de nivelacion de la pág. 64 y en las casillas 6, 7, 8 y 9 las operaciones convenientes para obtener en la última, las cotas finales. La 1.^a cota de 100 metros correspondiente al punto de partida, señala el plano de comparacion que suponemos inferior; en las casillas 6 y 7 se hallan las diferencias positivas y negativas entre las 4 y 5; la casilla 8 está destinada á las operaciones aritméticas, y juzgamos que con solo mirar con atencion este estado, se descubre desde luego el modo de determinar las cotas definitivas que buscamos.

Obtenidas estas, se traza en el papel una línea recta que representará el plano de comparacion; en ella con una escala apropiada, se van tomando las distancias de los puntos observados que constan en la casilla 5.^a y se señalan dichos puntos, por los cuales levantando perpendiculares, estas nos representarán las ordenadas ó cotas de cada punto, cuya respectiva longitud señalaremos tomando sobre cada una de ellas las longitudes que marcan las cotas finales calculadas; y que tomaremos en la misma escala ó en otra mucho mayor, que es lo que mas frecuentemente se practica. Así obtendremos los diferentes puntos, que uni-

dos por una línea continua nos marcará las ondulaciones del terreno; en las cuales, harémos las correspondientes anotaciones para marcar los diferentes cursos de agua, los puntos en que crucen los caminos, los pueblos, etc., etc., cuyas anotaciones estarán de acuerdo con las indicadas en el plano.

Para formarnos una idea completa del modo de formar el plano y perfil longitudinal, presentamos á continuacion una parte de una libreta y en la lámina 6.^a la representacion correspondiente del terreno.

Arriba- mientos.	Estaciones, Distancias.	MIRAS.		DIFERENCIAS.		Cálculos	Cotas finales.	OBSERVACIONES.
		Atrás.	Adelante.	En +	En -			
118°	8.°	100	1,20	5,60	2,40	80	80	Hasta aquí tierras de labor.
						2,40	77,60	
	9.°	50	0,60	2,50	1,90	77,60	75,90	Yermo. Gravas para el firme.
						1,90	74,00	
	10°	450	0,40	5,28	2,88	74,00	71,12	Al río 86 m á la derecha.
						2,88	69,50	
	11°	70	0,95	4,70	2,21	71,12	67,49	Al río 154 m A Villanueva R. 59°.
						1,42	66,99	
	12°	45	0,70	2,87	0,50	67,49	65,52	Tierras de labor.
						0,50	65,52	
158° 40'	13°	200	1,50	0,60	0,07	65,52	65,59	Riachuelo. Pontón de 3 m hay un banco de arcilla para fundarle.
						0,07	66,09	
	14°	80	2,65	0,52	0,70	66,09	67,55	Tierra compacta y gravas.
						0,70	68,05	
	15°	50	3,15	2,00	2,15	68,05	70,18	Camino á Villanueva. Al río 159 m
						2,15	70,50	
	16°	400	0,26	4,10	0,32	70,50	71,65	Venta á 12 m á la derecha. A Villanueva R. 52°.
						0,32	72,50	
	16°	55	4,10	1,15	0,85	72,50	70,29	Concluyen las tierras de labor.
						0,85	66,45	
	16°	65	1,40	2,70	2,21	66,45	69,15	Roca caliza de agua dulce.
						2,21	69,15	

Perfiles tras-
versales.

Los perfiles trasversales podrán señalarse en el plano, trazando líneas perpendiculares á las alineaciones ya representadas, y por los puntos que correspondan á los del terreno por donde se han determinado; y la forma de estos perfiles podrá representarse por separado ó bien en el mismo plano, suponiéndoles rebatidos en él, al rededor de la recta que los señala; en el primer caso tendremos los perfiles como representa la fig. 37; en el segundo, del modo que se figura en el plano de la fig. 46: y en ambos casos señalaremos en el perfil longitudinal, los puntos correspondientes á los diferentes perfiles trasversales; los cuales, fáciles son de deducir por las apuntes que deben haberse hecho en las libretas.

Con esta representacion del terreno, podremos á la simple inspeccion formarnos una idea muy exacta de él, y en consecuencia proceder al trazado propiamente dicho; es decir, á la fijacion definitiva del eje de la carretera, tanto horizontal como verticalmente, ó sea en fin á la determinacion del *trazado horizontal* y del *trazado vertical*.

Trazado hori-
zontal.

El trazado horizontal será en la mayor parte de los casos y conforme á lo que ya hemos indicado, el plano de la línea de operaciones; puesto que la hemos elegido sobre el terreno, procurando fuera la direccion mas conveniente para el eje de la carretera; por esta razon, esta línea no sufrirá en su plano sino variaciones parciales, bien sea para separar una alineacion de un obstáculo ó un terreno poco apropiado, bien para modificar las condiciones de una curva ó para variar una direccion con objeto de conseguir menores obras, etc., etc., y en todos los casos, estas modificaciones tienen que hacerse teniendo á la vista el plano y el perfil, y modificando este último de acuerdo con las variaciones que el primero sufra.

Supongamos por ejemplo la alineacion AB (fig. 57) cuya nivelacion ha dado el perfil $A'NB'$ y tal que para marchar del punto A al punto B hay que subir hasta N para luego descender. Si esta alineacion sigue una media ladera, y queremos evitar esta subida y bajada perjudicial, ó el gran desmonte que seria necesario para hacerla desaparecer, seria necesario trazar las tres alineaciones Ab , bM y MB , y deducir por los perfiles transversales la modificacion que el perfil longitudinal del trazado ha de sufrir.

Basta para esto considerar los perfiles transversales 1, 2 y 3; y si en ellos tomamos la distancia $1a$, $2b$, $3c$, y trazamos las ordenadas am , bn , cp , estas nos representarán las diferencias de alturas de los puntos del perfil primitivo y del nuevo; por lo tanto, descontando de las cotas correspondientes 11, 22, 33 estas magnitudes, obtendremos la longitud de las nuevas ordenadas; y tomando sobre el plano de comparacion las distancias $A'a' = Aa$, $a'b' = ab$, $b'e' = bc$ y trazando $aa' = 11 - am$; $bb' = 22 - bn$; y $cc' = 33 - cp$, estas serán las ordenadas de la nueva curva que representarán el nuevo perfil longitudinal, que en la distancia AB será algo mayor que el primero; lo cual debe tenerse muy en cuenta, á fin de reformar tambien el perfil en cuanto á su longitud horizontal.

Basta lo dicho para comprender el uso que en cualquiera de los demás casos puede hacerse de los perfiles transversales, para modificar el plano de la línea de operaciones y obtener el trazado horizontal definitivo de la carretera que se proyecta.

Determinacion
del trazado sobre
un plano detallado
de todos los accidentes
del terreno.

Si continuando con la redaccion del proyecto llegamos á los terrenos cuyos accidentes y complicacion, nos hayan obligado á levantar su plano detalladamente (pag. 74) para de-

ducir en el gabinete la direccion mas conveniente del trazado de la carretera, podremos despues de obtenida la representacion exacta del terreno con sus correspondientes curvas de nivel, elegir á la simple inspeccion, la posicion mas conveniente de la traza; y mucho mas, teniendo en cuenta las consideraciones siguientes.

Supongamos que el trazado tiene que cruzar una vertiente sensiblemente plana y que por lo tanto sus lineas de nivel son próximamente rectas y paralelas y que llegando con el trazado á las inmediaciones de esta, deseamos trazar el camino mas corto sin esceder de la pendiente límite.

Sean A y B (fig. 58) los dos puntos situados en las planicies que separa la vertiente; y mm' , nn' , las lineas de nivel, si tiramos las normales Aa, Bb y trazamos ab , la línea Aa bB será la del trazado conveniente si ab satisface á la condicion de llevar la pendiente límite. Mas supongamos que la direccion y magnitud de la pendiente límite entre las dos lineas de nivel es la pq ; en este caso, la línea del trazado mas corto la obtendremos tirando la BC igual y paralela á pq uniendo A con C y trazando DE paralela á pq resultando la línea BEDA=BCA y por tanto la mas corta entre A y B, para el caso supuesto.

Supongamos por el contrario que la ab (fig. 59) tiene todavía una pendiente escesiva; en cuyo caso, despues de fijadas las normales Aa y Bb trazaremos la ac con la pendiente límite y desde b dirigiremos tambien con esta pendiente y en direccion contraria la bc ; y la línea BbcaA será evidentemente la proyeccion horizontal del trazado mas corto, así como tambien lo seria el AadbB y el AaefbB; todos de la misma magnitud.

Generalizando estas construcciones y suponiendo diferentes líneas de nivel podríamos, para determinar el trazado, hacer la construcción siguiente:

Se traza Be (fig. 40) igual y paralela á la línea m ; de igual y paralela á n ; dc igual y paralela á p ; se tira cA y trazando despues las bH , HG , GF respectivamente paralelas á las p , n y m ; la línea $BFGHbA$ será la mas corta, cuando las normales AO y BP se confundan con las Ab y BF ó caigan fuera del trazado, y cuando esto no suceda, se harán los extremos de este trazado como hemos indicado en la figura 39.

Cuando las líneas de nivel son curvas que se separan mucho de la línea recta y no pueden reemplazarse por ella, entonces se toma con el compas, la distancia que representa en la escala la magnitud de la proyección de la pendiente límite, entre dos curvas de nivel consecutivas; y llevándola sobre las curvas en la dirección de los puntos dados, obtendremos el trazado $AbcdefgB$, (fig. 41) así como tambien resultará el $Bgmno p q A$ y otros. Es evidente que en este último caso, solo se conseguirá á fuerza de tanteos y de observación de los accidentes representados, el trazado mas ventajoso; el cual se llegará á obtener con mas facilidad que con la inspección del terreno, porque de una sola mirada se abraza una grande extensión de él y pueden compararse unos con otros los accidentes, las longitudes y la entidad de las obras que por cada dirección sea necesario llevar á cabo.

Determinada así la proyección horizontal del trazado, deduciremos fácilmente el perfil longitudinal y trasversales, por medio de las cotas de las curvas de nivel que nos marcarán las longitudes de las ordenadas de dicho perfil; y de este modo tendremos representado el plano y relieve del terreno de la mis-

ma manera que si desde luego hubiéramos adoptado sobre él, la base de operaciones.

Trazado vertical.

Todo lo que acabamos de decir, nos sirve para fijar el trazado horizontal de la carretera y determinar la longitud de cada una de sus alineaciones ó tramos, y los rádios de las curvas que unan dos alineaciones rectas consecutivas; mas para completar el trazado, nos falta fijar el vertical  ó sea la posición de las *rasantes*; llamándose así,  cada una de las rectas que marcan las pendientes sucesivas de la carretera, cuya reunión forma un polígono que sigue las ondulaciones del terreno y que marcan la altura  que marcha el trazado.

Para trazar estas rasantes, se eligen dos puntos *b* y *o* (fig. 42) sobre el perfil, y se unen por medio de una recta *bo* y esta recta que como la *ab* es una rasante, indica que para que la carretera marche segun su dirección, es preciso quitar  *desmontar* el terreno superior  *oc* y rellenar  *terraplenar* el espacio *cdb* hasta *bc*; del mismo modo para construir la carretera segun la rasante *ba*, será necesario terraplenar el espacio *pab*.

Basta esta indicación para comprender que de la posición de las rasantes, dependen los mayores  menores desmontes y terraplenes,  en general el mayor ó menor *movimiento de tierras*, y por lo tanto debemos procurar trazarlas de modo que resulten el menos posible; sin perder de vista que sus pendientes y combinación, han de satisfacer también, á las condiciones que señalamos en la (pág. 26) que son peculiares de un buen trazado.

También debemos hacer notar  la vista de esta figura, que como para ejecutar el terraplen *cdb* sera menester buscar y escavar las tierras necesarias, obtendrémos una notable ventaja

empleando para este relleno, las tierras extraídas del desmonte *cno*; y conseguiremos una grande economía, si la citada rasante la trazamos de modo que el volúmen del terraplen sea igual al que haya que desmontar, ó lo que es lo mismo que haya *equivalencia* entre el desmonte y el terraplen.

Condiciones á que
deben satisfacerse,
en el trazado
de las rasantes.

Reasumiendo pues estas indicaciones, resulta que en el trazado de las rasantes deben satisfacerse las condiciones siguientes:

1.^a La mayor economía posible ó sea adaptarlas á las ondulaciones del terreno cuanto se pueda, á fin de que resulte el menor movimiento de tierras.

2.^a Equivalencia ó compensacion entre desmontes y terraplenes.

3.^a Que satisfagan á las condiciones ya mencionadas como favorables á la circulacion.

Estos resultados solo se obtendrán en el trazado de las rasantes, á fuerza de tanteos hechos sobre el perfil, que con dicho objeto debe hallarse dibujado en una escala no muy reducida; pudiéndose para mayor apreciacion, presentar las alturas en una escala mucho mayor que las longitudes horizontales, á fin de que exageradas así las ondulaciones del terreno, se hagan mas patentes á la vista los desmontes y terraplenes, y juzgar mejor de su comparacion é importancia. En los perfiles que habitualmente se presentan en los proyectos de carreteras, se representan las distancias horizontales en escala de $\frac{1}{5000}$ y las verticales en la de $\frac{1}{500}$ conforme á lo que dispone el formulario mandado observar.

Advertencias.

En el trazado de estas rasantes, debemos tener muy presentes los pasos de agua de alguna entidad, para procurar trazar sobre ellos rasantes horizontales y á la altura debida,

para que quedando siempre la esplanacion fuera de las aguas, resulten los espacios convenientes para la construccion de las obras de fábrica, en buenas condiciones. Si circunstancias especiales impidieran trazar estas rasantes horizontales, se sujetarian entonces las obras de fábrica á la inclinacion de la esplanacion.

Fuera de estos casos y de aquellos en que por seguir una larga pendiente, sea útil para el descanso de las caballerías empleadas en la traccion, el construir algun tramo horizontal, no debe hacerse sacrificio alguno para conseguir rasantes horizontales; pues las de pequeña inclinacion, tienen no solo las ventajas que indicamos (pág. 19) respecto á la accion de los motores, sino que tambien la observacion y la práctica manifiestan, que las partes horizontales de las carreteras, sufren mas pronta degradacion que las ligeramente inclinadas; lo cual entre otras causas, es debido á que las aguas se infiltran en aquellas con mas facilidad que en estas, siendo tambien mas costosa su conservacion.

Como debe entenderse la compensacion.

Otra observacion debemos hacer, aunque parezca ociosa, respecto á lo que hemos dicho de la compensacion de desmontes y terraplenes. Esta compensacion que en algunos casos particulares podrá no convenir, debe siempre entenderse entre desmontes y terraplenes próximos, pues podria muy bien haber igualdad entre los desmontes y terraplenes de un trozo de carretera, y la compensacion, que recomendamos, no existiera.

Al practicar el trazado de las rasantes debe atenderse mucho á la forma de los perfiles trasversales, y es evidente que cuando el trazado recorra una media ladera, la compensacion debe procurarse entre el desmonte y terraplen de un mismo perfil trasversal; y cuando este último, por tener una pendiente

muy rápida, exija la construccion de muro de sostenimiento, debe contarse al trazar la rasante con la consiguiente disminucion que sufra el terraplen.

Trazadas las rasantes sobre el perfil longitudinal, y señaladas con tinta carmin conforme á la costumbre admitida en todos los proyectos, se forma ya una idea aproximada del movimiento de tierras que podrá resultar, puesto que toda la parte comprendida entre estas rasantes y el perfil del terreno, representará la tierra que haya que añadir ó quitar; indicando los terraplenes, toda la parte inferior á las rasantes; y los desmontes la superior; y la altura de unos y otros en cada punto del perfil, se deducirá inmediatamente del cálculo de las rasantes; es decir, despues que se determine la inclinacion y cotas de cada una de ellas.

Cálculo de las inclinaciones de las rasantes.

Para esto, como conocemos las cotas del perfil del terreno tendrémolos las de los puntos en que las rasantes le cortan, bien porque serán las de las ordenadas del perfil ya anotadas como digimos en la (pág. 81) ó bien porque podrán calcularse si son puntos del perfil comprendidos entre ordenadas consecutivas. Hallada la diferencia entre las dos cotas y dividiéndola por la distancia que las separa, tendrémolos el valor de la pendiente de una rasante representado por la fórmula

$$p = \frac{c-c'}{d}$$

que nos dará la inclinacion por metro, ó el tanto por 100 con que se acostumbra á espresar estas inclinaciones.

Determinadas las pendientes, se pasa al cálculo de las alturas ó cotas de las rasantes correspondientes á cada ordenada del perfil, y referidas al mismo plano de nivelacion que este; y estas cotas, que se acostumbra á señalarlas con tinta carmin, se llaman

ordenadas rojas distinguiéndolas así de las del terreno que se denominan *cotas negras* y las cuales se marcan con tinta de este color. Vemos pues que las ordenadas rojas son las del proyecto, así como las negras lo son del terreno natural.

Las ordenadas rojas se determinan fácilmente despues de obtenida la pendiente ó sea la altura por unidad de distancia; pues bastará multiplicar la fórmula anterior, por las diferentes distancias parciales correspondientes á cada rasante, y aumentar ó disminuir los resultados, segun sea subiendo ó bajando, á la primera cota de la rasante; es decir, que si llamamos c á la cota de partida y x una cota cualquiera su valor será

$$X = C \pm p \times d = C \pm \frac{c-c'}{D} d;$$

llamando d la distancia parcial y D la longitud horizontal de la rasante.

Diferencia de
cotas ó cotas
rojas.

Asi en el ejemplo que se representa en la fig. 42 la pendiente será $p = \frac{56-22}{283} = \frac{14}{283} = 0,049$ y las cotas de los puntos m y n serán

$$m \dots 22 + 0,049 \times 75 = 22 + 3,68 = 25,68$$

$$n \dots 25,68 + 0,049 \times 120 = 25,68 + 5,88 = 31,56$$

$$o \dots 31,54 + 0,049 \times 90 = 31,54 + 4,42 = 35,98 \text{ ó } 36$$

de un modo semejante se determinarán todas las demas ordenadas rojas, las cuales se anotarán en el perfil á continuacion de las cotas negras y separadas de ellas por el signo menos, del modo que hemos representado en la lámina 6.ª Es evidente que si la ordenada negra es mayor que la roja correspondiente, la diferencia entre ambas, nos dará la altura del terreno que habrá que quitar ó desmontar; y si por el contrario, es mayor la roja que la negra, la diferencia será negativa y nos indicará la

altura del terraplen; es decir, que la altura de los desmontes y terraplenes en cada punto, estarán representadas por estas diferencias de cotas, que se denominan *cotas rojas*, y se escriben con tinta de este color.

Forma de los
perfiles trasver-
sales.

Estas diferencias de cotas, que como ya hemos indicado, fijan en cada punto del perfil longitudinal, la altura á que ha de establecerse el eje de la carretera, sirven para poder representar con toda exactitud sobre cada perfil transversal, la forma y posicion exacta de la seccion del camino que se proyecta, y que por lo general afectará una de las formas que se representan en la fig. 45.

En esta se vé, que la esplanacion de un camino (preseindiendo por ahora del firme) se compone de una parte horizontal *ab* que es la via propiamente dicha, y dos pequeñas zanjas ó *cunetas c, c*, que la separan de los terrenos inmediatos y que sirven para recojer las aguas que caigan en la carretera ó afluyan á ella de los campos contíguos. En la figura se representa el caso en que la esplanacion se halle á la altura del terreno, aquel en que la esplanacion se halla superior á él ó en *terraplen*, en cuyo caso las cunetas son inútiles por lo general; el en que la esplanacion de la carretera queda inferior al terreno ó en *desmonte*, siendo entonces indispensables las dos cunetas; y últimamente el caso, en que siguiendo el trazado una ladera, la via marcha de un lado en desmonte y del otro en terraplen; siendo en este caso necesaria una sola cuneta *c* del lado del desmonte.

Debemos hacer notar que las inclinaciones de las líneas *am*, *bn*, *cm* y *cn* de los perfiles representados en la figura 45 serán las de los taludes naturales que adquieran las tierras que formen los terraplenes, ó las que correspondan á la cohesion natural de las rocas que hayan de removerse.

En cuanto á las dimensiones, la de la via debe sujetarse á la circulacion é importancia de la carretera; y la de las cunetas, dependerá de las aguas que por consecuencia de la configuracion del terreno, deban afluir á ellas; mas estas últimas por lo general no escenderán de 0,^m80 á un metro de anchura por 0,50 de profundidad.

Las dimensiones ó latitud de la esplanacion conforme á la Real orden de fecha 6 de Agosto de 1861 es la siguiente:

Carreteras de 1. ^{er} orden	8 metros
Id. de 2. ^o	7.
Id. de 3. ^o	6.

Conocida la forma y dimensiones de la esplanacion y teniendo dibujados los perfiles trasversales del terreno, que corresponden á cada ordenada ó cota del perfil longitudinal, como por ejemplo la *mn* de la figura 43, podremos tomar sobre los puntos *q* correspondientes al eje de la carretera, las alturas *pq* iguales á las cotas rojas señaladas en el perfil longitudinal; tomándolas superiores, si estas cotas son en terraplen, é inferiores si fueran en desmonte. Determinados los puntos *p* podremos ya dibujar la seccion de la carretera.

La operacion gráfica de dibujar estos perfiles trasversales, se simplifica considerablemente formando de carton, talco etc., una plantilla en la forma que indica la fig. 44; colocando el punto *p* sobre el señalado en el perfil del modo que acabamos de indicar, dirigiendo la *xy* en direccion de *XY*, y haciendo correr el lápiz por la *abcn* y señalando la *ma* para el terraplen, suponiendo el perfil *KL*. Las demas líneas que terminan en *e* y *f* son correspondientes á los diferentes taludes que se admitan para los terrenos que hayan de desmontarse.

Para completar la determinacion de la esplanacion de la car-

retera, es necesario buscar las cotas de los diferentes puntos en que las rasantes trazadas encuentran al perfil longitudinal al pasar de desmonte á terraplen, cuyos puntos se denominan *puntos de paso*; y las líneas segun las cuales la esplanacion penetra en el terreno, ó sean las *líneas de paso*; puntos y líneas que son de algun interés, porque son los límites de los desmontes y terraplenes.

Determinacion
de los puntos de
paso.

La determinacion de los puntos de paso de una rasante, se hace con suma facilidad, conociendo las ordenadas rojas y negras. En efecto fig. 45 si conocemos las pa , pb , qc , qd y comparamos los triángulos semejantes abo , dco cuyas alturas son om y on tendrémolos,

$$om : on :: ab : cd$$

$$om : om + on :: ab : ab + cd \text{ de donde}$$

$$om \text{ ó } px = \frac{(om + on)ab}{ab + cd} = \frac{pq \times ab}{ab + cd} \text{ cantidades}$$

todas conocidas, que nos darán px y por consecuencia xo que será la cota del punto o .

Determinacion
de las líneas de
paso.

Si trazamos diversos planos paralelos al del perfil longitudinal y ejecutamos la misma operacion, tendrémolos otros diferentes puntos, que unidos nos darán una línea que será la *línea de paso*.

Para determinar gráficamente esta, consideremos los dos perfiles trasversales del terreno correspondientes á los puntos mm' , nn' , (figura 46) y los de la esplanacion de la carretera correspondientes á pp' , qq' , situados en las mismas secciones; y supongámosles rebatidos en el plano horizontal como representa la figura; determinado el punto oo' como anteriormente, trazaremos planos verticales paralelos al eje xy , por ejemplo el 11, tomaremos las diferencias de cotas cd y ef y

las señalaremos respectivamente en $p'e'$ y $q'e'$ y trazando la $e'e'$, el punto o'' será el de paso para esta seccion; que proyectaremos en el plano horizontal en o''' , y la línea $o o'''$ será una parte de la de paso; del mismo modo trazando el plano 2, 2 y tomando $p'z'$, $q's'$ respectivamente iguales á tz y rs y tirando la $z's'$ el punto $o^{IV} o^V$, en donde esta línea encuentra el terreno, será un nuevo punto de la línea de paso, que uniremos con los anteriores; siguiendo de este modo, trazaremos los diferentes puntos de la espresada línea procurando siempre que los planos verticales paralelos al eje, pasen por los puntos notables ú ondulaciones de los perfiles transversales; así obtendremos la línea $LK o^V o o'''$ que será la *línea de paso*; la cual nos marcará el límite del desmonte y terraplen: es decir, que la parte comprendida entre esta línea y el primer perfil transversal se hallará en terraplen; y en desmonte, la parte desde esta misma línea al segundo perfil.

Si paramos un momento nuestra atencion sobre el modo como hemos determinado la línea de paso, echarémos inmediatamente de ver que el fundamento de esta construccion, está en suponer el terreno como una superficie alaveada, formada, por un plano director vertical paralelo al eje, y dos curvas directrices que son los dos perfiles transversales; y el problema de la línea de paso, no es otra cosa que determinar la interseccion de esta superficie alaveada, con la que constituyen la esplanacion del camino.

Es evidente que esta suposicion no es enteramente exacta, puesto que la superficie del terreno no se presenta ordinariamente con esta regularidad; mas en la imposibilidad de compararla á otras superficies definidas y de poder en la práctica tener en cuenta las mas insignificantes ondulaciones, es sufi-

cientemente aproximada para el objeto, y puede llevarse al grado de exactitud que se desee, aumentando el número de los perfiles transversales.

Determinadas las líneas de paso queda completamente representada la esplanacion; mas estas últimas líneas, no se señalan ordinariamente en los planos de los proyectos, sino que únicamente sirven para los planos de detalles en la ejecucion, y para determinar, al hacer los presupuestos, el volúmen del movimiento de tierras, del modo que mas adelante indicaremos.

Proyecto en el
paso de un terreno
no pantanoso.

Para terminar con todo lo referente, al proyecto de la esplanacion, debemos hacer notar que cuando esta deba atravesar un terreno pantanoso ó de poca resistencia para sostener el peso de los terraplenes, es necesario aumentarla, y proyectar para dicho objeto enfaginados oblicuos á la direccion de la carretera que formen una ancha plataforma suficientemente resistente; ó bien tan solo aumentar la base de los terraplenes abriendo á uno y otro lado cunetas ó acequias para el saneamiento del terreno que ha de sostener la carretera. Cuando se ejecutan los enfaginados, se componen por lo general de dos capas de faginas colocadas en diferente direccion y oblicuas á la carretera, separadas por una capa de tierra.

Muros de
sostenimiento.

Respecto á los muros de sostenimiento y revestimiento que aunque por ser verdaderas obras de fábrica debieran comprenderse en el artículo siguiente, son, puede decirse, una parte integrante de la esplanacion y reemplazan muchas veces á los terraplenes y desmontes.

Como el modo de proyectarlos y construirlos deben ser conocidos, por ser objeto de un curso de construccion, nuestras indicaciones tan solo se concretarán á la oportunidad de su establecimiento.

Siempre que las vertientes de una ladera que cruce un trazado, sean muy rápidas y por lo tanto que el terraplen no pudiera sostenerse convenientemente, ó su volúmen resultára de una gran consideracion, es oportuno emplear los muros de sostenimiento; tanto mas, si los desmontes proporcionan el material para ello y el terreno de fundacion es suficientemente sólido.

Tambien convendrá construir muros de sostenimiento ó revestimiento, para contener las tierras de un desmonte en el cual se teman desprendimientos ó corrimientos, y no se juzgue oportuno emplear ninguno de los demas medios que se recomiendan para evitar estos movimientos del terreno.

Quando la carretera cruza por terrenos de gran valor ó se aproxima á edificios de alguna importancia, habrá en muchos casos mayor economía en la construccion de muros de sostenimiento, que en indemnizar á los propietarios del terreno que en otro caso ocuparian los taludes de los terraplenes, y por eso tambien en estos casos convendrá la construccion de ellos.

CAPITULO SEGUNDO.

OBRAS DE FABRICA.

Las obras de fábrica que se construyen en las carreteras ademas de los muros de sostenimiento y revestimiento, tienen por objeto; dejar libre paso á las aguas, favorecer la seguridad del tránsito ó mejorar el servicio de ellas aumentando la comodidad del viajero y el embellecimiento del camino.

Obras para el paso de las aguas.

Las que tienen el primer objeto se clasifican en, Badenes, Sifones, Tageas, Alcantarillas, Pontones y Puentes, habiéndose tambien introducido en el formulario aprobado por Real orden de 19 de diciembre de 1855 los *caños de riego* cuya denominacion se aplicó, en nuestra opinion viciosamente, á las pequeñas Tageas que no llegaban á 0^m,75 de luz, dejando tan solo la denominacion de Tageas para las obras que tenian de 0^m,75 á 1^m de luz; y decimos que la denominacion nos parece viciosa porque teniendo el nombre de *caños de riego* su significacion especial se aplicaba impropriamente á obras cuya forma no era la de caño y cuyo objeto pudiera no ser el paso de las aguas de riego. Por esta razon aunque en algunos casos pueda convenir en las carreteras la construccion de caños propiamente

dichos para el paso de las aguas, el nombre de estas obras, no debe limitar el de las Tageas, cuya forma y construccion es completamente diferente.

Siguiendo nosotros esta indicacion y en conformidad con los formularios vigentes aprobados por Real orden de 1.º de marzo de 1859 dividiremos estas obras en

Badenes.

Caños.

Tageas. hasta 1^m de luz.

Alcantarillas. . de 1^m á 5^m de luz.

Pontones. . . . de 5^m á 8^m

Puentes. . . . de 8^m en adelante.

Badenes.

Los Badenes en las carreteras, no son mas que unos pequeños trozos de ellas, sin bombado alguno, colocados á la altura del terreno, empedrados con mas ó menos esmero y en donde se reunen y pasan las aguas de un lado al otro de la esplanacion.

Estos Badenes, cuyo empleo se evita mas cada dia, pueden colocarse en los puntos bajos de la carretera ó en las pendientes que por ser de mucha longitud se teman los malos efectos de las aguas corriendo á todo lo largo de ellas, y se quiera por lo tanto hacerlas desviar de su direccion.

En el primer caso los Badenes, que suelen tener de 4 á 10 ó mas metros de longitud, segun la mayor ó menor cantidad de agua que haya de afluir á él, se componen de dos arcos cóncavos de piedra á la entrada y salida de aguas (figura 47) que se denominan *rastrillos*, unidos entre sí por dos ó mas *cadena*s ó *cintas* trasversales de piedra, con objeto de dividir todo el espacio en cuadriláteros que se afirman ó empedran cuidadosamente. La máxima curvatura que conviene dar á estos badenes es de una flecha de $\frac{1}{20}$ de la longitud.

Algunas veces y cuando estos badenes se emplean en medias laderas, como la esplanacion se halla en terraplen por un lado, se construye un muro de caida por escalones, que sostengan este terraplen y por el cual descieran las aguas sin causar daño á la esplanacion; á este muro se le provée de sus correspondientes aletas en la forma que la (fig. 48) indica, con objeto de sostener lateralmente las tierras del terraplen.

Si estos badenes son perjudiciales á la buena viabilidad de las carreteras, lo son mas los que han solido colocarse para separar las aguas en las largas pendientes y que se reducen á dos fajas de carretera, empedradas oblicuamente á la direccion de ellas (fig. 49) y con una pequeña elevacion ó relieve, que obliga á que las aguas se separen y marhen á lo largo de las zonas empedradas, saliendo fuera de la carretera por los parajes que hayamos elegido.

Estas obras, sin embargo de su mucha economia, deben evitarse en las carreteras, y solamente se deberán emplear en casos muy limitados, y cuando no se encuentre otro medio para el paso de las aguas; pues entre otros inconvenientes, tienen los de ser de costosa conservacion, producir obstáculos á la circulacion, é incomodidades á los viajeros. En las travesías de los pueblos y en algunos parajes muy especiales de terrenos montañosos, en que no se pueda ó no convenga construir terraplen, es en donde alguna vez puede ocurrir tener que proyectar alguna obra de esta especie.

En nuestras carreteras antiguas, abundan todavía demasiado los badenes, no obstante el número de ellos que han hecho desaparecer los Ingenieros, unos por inútiles y otros reemplazándoles con tageas; evitando así los obstáculos y molestias que la circulacion experimentaba al salvar estos pasos, convertidos

en verdaderos lodazales, cuando la conservacion no ha sido suficientemente esmerada.

Las demas obras de fábrica que hemos enumerado y que se diferencian por sus dimensiones, se proyectan respectivamente sobre los cursos de agua de mas ó menos consideracion.

Tageas y Alcantarillas.

Imposible seria comprender todos los casos que pueden presentarse al hacer el proyecto de las Tageas y Alcantarillas; mas para formarse una idea de lo que son estas obras, sin entrar en detalles acerca de su resistencia, los materiales con que deben construirse, y las condiciones detalladas de sus proyectos, lo cual nos conduciria á consideraciones propias tan solo de un curso de construccion, vamos únicamente á señalar las diferencias que en las formas generales de sus proyectos podrán presentarse, segun la situacion de los cursos de agua con respecto á la esplanacion de la carretera.

Los casos principales que podrán presentarse son los siguientes:

- 1.º Que el talweg, ó curso de agua vaya inferior á la rasante de la carretera, y con poca inclinacion.
- 2.º Que vaya á la misma altura.
- 3.º Que sea superior.
- 4.º Que teniendo mucha vertiente, se halle en uno de los tres casos anteriores.

En el primer caso, dos muretes de sostenimiento trasversales á la carretera *a* y *b* separados entre sí la distancia que mida la luz de la obra, cubiertos con *losas de tapa* ó un arco, nos dará la obra mas conveniente; la cual terminará en cada frente bien con un muro que sostenga la esplanacion siguiendo las aristas de ella (fig. 50) y dándole de uno y otro lado la longitud conveniente para que las tierras no rueden hasta el claro de la

obra, ó bien construyendo aletas que sostengan lateralmente los taludes de la esplanacion (fig. 51).

Si el talweg fuera muy inferior ó el terraplen de grande altura para que la obra llegara á la parte superior de la esplanacion, la obra podria tener la situacion que indica la (figura 52).

El 2.º caso suele presentarse principalmente al cruzar terrenos de regadio, en cuyo caso, siendo las aguas permanentes y no pudiéndose variar su altura sin grave perjuicio de los terrenos regables, es necesario construir una obra que no la modifique; y por lo mismo, recurrir á un *sifon*; es decir, á una tagea en forma de tubo ó conducto, que terminando en dos pozos colocados á uno y otro lado de la esplanacion, proporcione que la altura de las aguas en ambos, se halle casi á la misma altura. La forma general de esta obra será la que representa la (fig. 53). Si el curso de agua no fuera permanente, sino consecuencia de lluvias, podria rebajarse el cauce, modificando su curso ó elevar la esplanacion para reducirla al caso anterior y evitar la construccion de un baden.

De un modo semejante se proyectarán las obras para el caso tercero, ó sea cuando el cauce ó arroyo pase superior á la esplanacion; es decir, que podrá modificarse la direccion ó altura del cauce, ó proyectar un sifon cuyos pozos subirán sobre la esplanacion hasta la altura de las aguas; siendo necesario en este último caso, tomar en la construccion de la obra mayores precauciones para evitar las filtraciones ó resudamientos.

Rara vez se encontrará en las carreteras, el caso en que los cursos de agua pasen á mucha altura sobre la esplanacion, pero si un caso de estos ocurriera la solucion del problema se reduciria á proyectar un acueducto superior, á dicha altura; que

habria de ser cuando menos mayor, que la máxima de los carruajes que pudieran circular por ella.

En el cuarto caso que hemos presentado, pueden comprenderse una infinidad, segun la mayor ó menor vertiente de los arroyos ó talwegs y su posicion con respecto á la esplanacion de la carretera. El Ingeniero en cada uno de ellos, buscará el modo mas conveniente de proyectar las obras, siendo los mas frecuentes que pueden presentársele, los que se dibujan en la (fig. 54.)

En la mayor parte de estos casos y en algunos de los anteriores, será necesario si el terreno no es suficientemente resistente, empedrar y enrastrillar el interior de estos conductos de agua; cuyos empedrados, deberán llevar cuando menos á la entrada y salida de las aguas, dos fuertes rastrillos y en el interior algunas *cintas* trasversales de piedra, que sujeten y encajonen la parte restante del empedrado ó *encachado*.

Hemos supuesto, en lo que acabamos de esponer, que conocemos las condiciones de buena construccion y del proyecto de una obra de esta especie; asi como tambien que los cursos de agua, cortan normalmente á la esplanacion de la carretera. Cuando esto último no se verifica, ó es necesario rectificar el cauce, lo cual debe hacerse siempre que no haya grandes inconvenientes, ó es preciso proyectar las obras oblicuas; cuya circunstancia lleva siempre consigo mas coste, no solo por la mayor dificultad en la ejecucion, sino tambien porque resultan de mayor longitud las obras.

Pontones y
Puentes.

Respecto á los pontones y puentes nada ó poco debemos decir puesto que suponemos conocidos todos los detalles referentes á su construccion y las condiciones á que deben satisfacer los proyectos de estas obras; los cuales, deberémos sujetar á la altura que hayamos fijado para la rasante de la carretera, y que

en union de la línea de mayores avenidas , nos servirá para adoptar la forma y dimensiones de los arcos ; los cuales se procurará siempre , que sean rectos , haciendo que la alineacion correspondiente al trazado sea normal á la direccion del talweg ; aunque para ello sea menester sacrificar algunas otras condiciones del trazado. Debe tambien desecharse todo lujo , buscando siempre la mayor sencillez , y aquellos materiales que pudiéndose apropiiar á estas obras, sean los mas económicos ; circunstancias que deben siempre procurarse en todas las obras de las carreteras.

Mas aunque nunca deban perderse de vista las condiciones de economía , no por eso debemos olvidar que en algunos casos, como en las inmediaciones de poblaciones de importancia, pueden los detalles de construccion ser mas esmerados , y aun sacrificar algunas veces al ornato y buen aspecto de la obra , el coste de ella ; pero jamás deberémos perder de vista el carácter de estas construcciones , para evitar adornos supérfluos, molduras delicadas , ó detalles impropios de estas obras cuya gravedad de aspecto y buenas proporciones , es lo que constituye su verdadera belleza.

CAPITULO TERCERO.

OBRAS ACCESORIAS.

Obras para aumentar la seguridad del tránsito.

LA segunda clase de obras de fábrica que se construyen en las carreteras, son, como digimos al principio de este artículo, las que tienen por objeto aumentar la seguridad del tránsito; cuyas obras entran ya en la categoría de *accesorias*. Estas son los *pretils*, *interrumpidos* ó *continuos*; los *caballeros* ó *malecones*, *guarda-ruedas* y *guias*.

Se proyectan *pretils interrumpidos* en las carreteras, para las medias laderas cuyo terraplen es de grande altura, en las curvas en terraplen aunque no sea de consideracion, y en general para todos los grandes terraplenes cuando se hallan sostenidos por muros. Estas obras cuyo objeto es proporcionar seguridad al tránsito, no son mas que pequeños muretes aislados colocados de trecho en trecho de 0,^m80 á 4^m de altura, por 2^m á 3^m de longitud y 0,50 á 0,80 de grueso, contruidos casi siempre, de mampostería ordinaria, los cuales se colocan sobre los muros á lo largo de la carretera como indica la (fig. 55). Las

distancias que les separan, además de la economía que proporcionan, sirven para dejar salida á las aguas y colocar los acopios para la conservacion de la carretera.

Cuando se quiere dar mayor seguridad, se disminuyen estas distancias ó se las hace desaparecer completamente, construyendo un *pretil continuo* todo á lo largo de la esplanacion; siendo necesario en estos casos, practicar desagües ó barbacanas que permitan la salida de las aguas (fig. 56).

Malecones.

Muchas veces en vez de construir pretils ó quita miedos, se hacen *malecones* ó *caballeros* que son pequeños depósitos de tierra ó piedra recubiertos si es posible de tepes, á los cuales se les da una forma prismática triangular como se representa en la (fig. 57.)

En otras ocasiones, los guarda-ruedas reemplazan á los quita miedos, colocándolos á mayor ó menor distancia, segun la altura del terraplen; cuyos guarda-ruedas deben procurarse tengan de base ó de raiz, empotrada en los terraplenes, cuando menos una altura de 0^m,40.

La combinacion de los guarda-ruedas con los quitamiedos y malecones, producen otros medios de aumentar la seguridad del tránsito, y se suelen emplear en la disposicion que la (fig. 58) indica.

Guías.

Otra de las obras accesorias que se emplean con igual objeto en las carreteras son las *guías*; las cuales se colocan para señalar la direccion que llevan cuando, por recubrirse en una grande estension de nieve, se pierde todo rastro de ella; espóniéndose entonces los transeuntes á salirse de la esplanacion y tal vez á dirigirse por precipicios ó parajes peligrosos poco aparentes á la vista, cuando las nieves son muy abundantes.

Estas obras, no son otra cosa que pilastras ó columnas in-

dicadoras de 3 ó 4 metros de elevacion que marcan todas las alineaciones de la carretera (fig. 59.)

En la colocacion de estas guias es necesario tomar algunas precauciones, cuando los cambios de direccion de las alineaciones son muy repentinos; á fin de evitar que confundiéndose á cierta distancia unas con otras, se tome una direccion que no sea la de la carretera.

Tambien se colocan en las carreteras *leguarias*, *postes kilométricos* y *postes indicadores*, cuyo objeto su mismo nombre lo indica. Los primeros señalan la distancia que se recorre en la carretera y al propio tiempo sirven para la buena organizacion del servicio de conservacion. La distancia recorrida se mide bien sea desde el origen de la carretera, bien desde la Côte, ó bien desde la Capital de una provincia, segun el orden y circunstancias de la carretera. Estas leguarias y postes kilométricos se les dá diferentes formas semejantes á las que en la (fig. 60) se indican, y se construyen de piedra, madera y hierro. Algunas veces se colocan pequeños indicadores de piedra cada 100 metros, asi como tambien se señalan los miriámetros con postes de mayor dimension; como se observa en todas nuestras carreteras de primer orden.

Postes
indicadores.

Indicadores semejantes se fijan en los puntos de bifurcacion de las carreteras con las inscripciones correspondientes, marcando la direccion de cada una; tambien se colocan á veces en las entradas de los pueblos señalando el nombre de estos; y por fin se señalan tambien con indicadores menos aparentes, los cruzamientos de las cañadas y caminos de servicio de los ganados, y los puntos en donde las pendientes empiezan á tener una inclinacion que exija las planchas ó frenos en los carruajes.

Como obras accesorias que contribuyen á mejorar el servicio

:

de conservacion de las carreteras y su embellecimiento consideraremos por fin, las *casillas de peones camineros* y las *plantaciones ó arbolados*.

Casillas de peones-camineros.

Las casillas de peones-camineros cuyo objeto es proporcionar á estos, una vivienda inmediata á la demarcacion en que trabajan, deben colocarse en aquellos parajes desde los cuales se descubra mayor estension de carretera y que se hallen poco mas ó menos en los puntos medios de sus trozos; con objeto de que antes y despues del trabajo, tengan que recorrer solo una corta estension de carretera. Debe tambien tenerse en cuenta para su establecimiento, procurar un terreno sano y convenientemente ventilado, y la conveniencia de colocar á su alrededor algunos árboles que purifiquen y refresquen la atmósfera, contribuyendo al mismo tiempo al embellecimiento del edificio.

Las condiciones á que deben satisfacer estas casillas, sus materiales y su distribucion y por consecuencia el modo de proyectarlas, es ageno de este lugar; por esto solamente nos concretaremos á recomendar la mayor economía en las formas del edificio y en la eleccion de los materiales.

Casas-portazgos.

Iguales consideraciones debemos hacer respecto á los edificios que se construyan para la recaudacion de los derechos de tránsito, ó sean las casas-portazgos, no obstante que como de mayor consideracion deberá tenerse mayor esmero en su proyecto. Estos edificios deben colocarse en aquellos puntos de paso indispensable, ó en que puedan temerse menos estravios; para lo cual, es necesario hacer un estudio concienzudo de los diferentes caminos que afluyen ó cruzan la carretera, y huir de aquellos parajes en que puedan los transeuntes salvar maliciosamente el portazgo, abandonando la carretera en un corto trecho, para volver despues á continuar por ella.

Aunque hacemos esta indicacion respecto á las casas-portazgos, no se crea por esto que sus proyectos, se unen á los de las demas obras de una carretera; rara vez ó nunca sucede esto; sino que por el contrario hasta despues de terminada la carretera, no se procede al proyecto de estos edificios.

Arbolados.

Terminarémos estas consideraciones con hacer una indicacion respecto á las plantaciones y arbolados; las cuales no solo embellecen la carretera y proporcionan comodidad en su tránsito, sino que contribuyen á conservar mayor frescura y humedad en la esplanacion, que es propicia para su mejor conservacion. Tambien es ventajoso el arbolado bajo el punto de vista de la seguridad del tránsito, principalmente en aquellos parajes que se recubren de nieve, ó en los terrenos bajos sujetos á inundaciones; pues en ambos casos sirven de guias que marcan exactamente la traza de la carretera.

Se ha emitido la opinion, de que los árboles son perjudiciales á las carreteras; y efectivamente en ciertos parajes sombríos podria suceder esto, si los árboles se multiplicaran en términos que evitaran las corrientes de aire; mas nunca serán perjudiciales estas plantaciones si los árboles se colocan á una distancia proporcionada de 8, 10 ó 12 metros segun las condiciones de la localidad y la eleccion de las clases apropiadas para este objeto. Los álamos, chopos lombardos, acacias, plátanos, castaños, olmos, fresnos, tilos y algunos otros, son especies que pueden plantarse en las carreteras segun la naturaleza y situacion del terreno que cruce.

Estos árboles se plantan de estaca ó se trasplantan de los viveros que al efecto se deben formar en cada carreterra; procurando que los árboles que se trasplanten, hayan adquirido el desarrollo conveniente para ello.

El detenernos á entrar en esplicaciones de las diferentes operaciones y cuidados que exige el establecimiento de los viveros y arbolados , haria demasiado estensas estas consideraciones saliéndonos ademas del camino que nos hemos trazado; por eso nos concretaremos á señalar los artículos publicados en la *Revista de Obras Públicas* en los años de 1853 y 1854 por Don Mariano Llorente, que contienen en pocas palabras , escelentes consideraciones sobre las precauciones que deben tenerse, para el fomento del arbolado en las carreteras.

Concluirémos por manifestar que los árboles deben colocarse á distancias iguales , siguiendo las alineaciones de la carretera, y plantados en la arista exterior de la cuneta ó sea á una distancia de la esplanacion igual á la anchura de la cuneta en su parte superior. De este modo ni se interrumpe la arista de la esplanacion , ni se detiene la salida de las aguas , ni tampoco la corriente de ellas por la cuneta ; quedando al mismo tiempo colocados en una situacion favorable al riego.

Fuentes, abrevaderos, pozos.

Aquí podemos dar por terminado todo lo referente á las obras de fábrica y accesorias que se ejecutan en las carreteras , pues si bien algunas veces se construyen fuentes y abrevaderos , estos casos son muy especiales; si bien nunca deben dejarse de aprovechar al abrir una carretera , la presencia ó descubrimiento de un manantial abundante de agua , que con escaso coste pueda proporcionar esta notable comodidad al tránsito. También algunas veces y para favorecer la buena conservacion de los afirmados , se practican pozos provistos de sus correspondientes bombas; mas tanto estos últimos accesorios , como las fuentes y abrevaderos , se incluyen pocas veces en los proyectos.

CAPITULO CUARTO.

FIRME.

PARA completar el proyecto de una carretera, solo nos falta ocuparnos del *firme*; es decir, de la parte resistente que sobre la esplanacion se coloca, para que por ella se verifique la circulacion. Como nuestro objeto es solamente la formacion de los proyectos, no debemos detenernos en la esplanacion de los diferentes sistemas de afirmados, ni de las variadas opiniones que respecto á su construccion se han emitido por respetables Ingenieros, y las cuales se hallan consignadas en la *sesta seccion* del *Manual de Caminos* publicado por el *Ingeniero Jefe D. Pedro Celestino Espinosa*, á donde puede consultarse.

Por estas razones, nos concretamos á decir que la forma que los firmes afectan por lo general, es la que se dibuja en la (fig. 61). El perfil A representa el de la esplanacion; el B la misma esplanacion con la *caja* que se practica en ella, para colocar el afirmado; empleando comunmente parte de la tierra estraida, para dar á los paseos ó sean á las dos zonas laterales *mn*, *pq* una inclinacion al exterior del tres al cinco por ciento, para la

mas fácil salida de las aguas; y el C es el mismo perfil de la carretera despues de colocado el firme.

La anchura de este, y por consecuencia la de la caja y los paseos, se halla determinada, por Real órden de 6 de Agosto de 1861, del modo siguiente.

	LATITUD TOTAL de la esplanacion. Metros.	ANCHO.	
		Del firme.	De los paseos.
Carreteras de 1. ^{er} órden. . .	8	3,50	2,50
Id. de 2. ^o órden. . .	7	3,00	2,00
Id. de 3. ^o órden. . .	6	4,50	1,50

Los firmes en las carreteras, pueden ser adoquinados, empedrados, afirmados, asfaltados etc. etc. Las circunstancias y los recursos de la localidad nos fijarán desde luego los materiales con que hayamos de construirlos; siendo por lo general, lo mas conveniente y económico, los afirmados compuestos de piedra machacada, que serán los que mas habitualmente emplearemos en nuestras carreteras; no obstante de que en circunstancias especiales y en trozos de mas ó menos longitud, podrán preferirse los demas.

La forma que se dá á la seccion de estos afirmados en su parte aparente, es la de un arco de círculo, como hemos representado en el perfil C de la (fig. 61) cuya cuerda, es la anchura de la caja; y cuya ságita, el bombado que quiera dársele para facilitar la vertiente de las aguas y procurar su mejor conservacion.

Como al hacer los reconocimientos, habrémos inspecciona-

do las localidades y buscado los puntos de estraccion del material, tendrédmos fijadas su calidad y situacion, y por lo tanto podrédmos con los datos anteriores, y con el conocimiento de las condiciones de buena construccion á que deben satisfacer los afirmados, proyectarlos del modo y forma que sean mas convenientes.

Como el entrar en mas consideraciones respecto al proyecto de los firmes, nos conduciria precisamente á ocuparnos de los detalles de su construccion, debemos limitar á lo dicho todo lo que nos proponíamos decir respecto al modo de proyectar las diferentes obras de una carretera.

CAPITULO QUINTO.

PRESUPUESTOS.

FORMADO con arreglo á las consideraciones que hemos hecho el proyecto de la carretera, determinada la forma de la esplanacion, de todas las obras de fábrica y del afirmado, falta para completarle, calcular el coste de todas las obras ó sea el presupuesto detallado de ellas.

Lo primero que es necesario determinar, es la clase y número de las diferentes unidades de obras que entran á constituir el proyecto; es decir, que necesitamos medir ó cubicar los desmontes ó terraplenes, las diferentes partes de las obras de fábrica y el volúmen del afirmado; para que fijado despues el valor de cada unidad, podamos venir en conocimiento del presupuesto de todas y cada una de las obras que constituyen el proyecto. De aquí que el presupuesto podamos considerarle compuesto de dos partes, la *cubicacion* y la *valoracion*.

CUBICACION.

ESPLANACION.

Con respecto á la esplanacion, se necesita averiguar el volúmen de cada uno de los desmontes y terraplenes proyectados; cuya forma se halla completamente fijada y conocida por los perfiles trasversales, cotas y líneas de paso, que se han determinado previamente.

Cada uno de los desmontes y terraplenes, forman un sólido irregular, cuya cubicacion no puede obtenerse sino descomponiéndole en poliedros ó cuerpos regulares, cuyo volúmen pueda determinarse geométricamente y que reunidos constituyan el volúmen total que buscamos.

Es evidente que no debe pretenderse una cubicacion matemáticamente exacta de estos volúmenes, pues hallándose la superficie del terreno muy lejos de afectar una forma geométrica, no podemos buscar sino tan solo una aproximacion, que por otra parte será suficiente para el objeto.

Tratándose del terreno comprendido entre dos perfiles trasversales consecutivos de una carretera, el volúmen que será necesario determinar se hallará comprendido (fig. 62) por la superficie de la esplanacion AC y la del terreno BD entre los citados perfiles AD, BC y por los planos AB y CD de los taludes, ya sean de los desmontes ó de los terraplenes. Prescindimos de las cunetas, porque estas teniendo por lo general un perfil constante, el volúmen que hay que remover para practicarlas se debe de determinar separadamente; teniendo cuidado en los

desmontes de considerar la anchura de la esplanacion incluyendo la de la cuneta ó cunetas.

Metodo exacto.

La superficie del terreno natural, podemos considerarla, conforme á lo que hemos dicho en otra ocasion, como una superficie alaveada de plano director vertical, paralelo al eje ó sea á la direccion de la carretera, y cuyas directrices son los perfiles trasversales del terreno.

Si desde los puntos C y A consideramos los planos verticales pasando por CE y AF, cortarán la superficie del terreno segun las rectas mn , pq y el volúmen comprendido entre los dos perfiles trasversales quedará descompuesto en tres sólidos, de los cuales, el central es un prisma rectangular, truncado en la parte superior por una superficie alaveada.

Para determinar el volúmen de este último, podemos suponer que las líneas nq y mp son rectas, en el caso de que el terreno se confunda sensiblemente con ellas; ó sino, trazaremos otros planos verticales intermedios y suficientemente próximos para que asi pueda considerarse, y resulte compuesto el sólido central de uno ó mas prismas rectangulares truncados por superficies alaveadas. Estos prismas, en el caso que consideramos, comprendidos entre los dos perfiles trasversales, tienen su base rectangular; mas si se hallaran limitados como muchas veces sucede entre un perfil trasversal y una línea de paso, entonces resultaría por base un cuadrilátero irregular.

Para comprender todos los casos vamos á determinar el volúmen de un prisma rectangular (fig. 63) cuya base es un cuadrilátero $abcd$, y truncado por una superficie alaveada de plano director vertical cuyas directrices son $a'b'$, $d'c'$. La superficie alaveada, la suponemos engendrada por el movimiento del plano director paralelamente á ad y bc , que para mayor senci-

llez y para concretarnos á nuestro objeto, supondrémos paralelas entre sí. Si trazamos dos planos uno por $a'd'$ y $d'c'$ y el otro por $a'b'$ y $b'c'$, se cortarán segun la recta $a'c'$, y asimismo $b'd'$ será la interseccion de otros dos planos que pasen por $b'a'd'$ y $b'c'd'$ resultando así la pirámide triangular $c'a'b'd'$. Si por un punto cualquiera m de la $a'd'$ trazamos un plano paralelo á las dos rectas $a'd'$ y $b'c'$ cortarán á las caras de la pirámide segun un paralelógramo $mno p$, por ser las rectas mn y op paralelas á la comun interseccion $b'c'$, lo mismo que las no y mp respecto de $a'd'$.

De aquí resulta que los triángulos $d'b'c'$ y $d'b'a'$ nos dan $oc':od'::b'p:pd'::b'm:ma'$, por consecuencia si trazamos la mo esta será una de las generatrices de la superficie alaveada, que dividirá el paralelógramo $mno p$ en dos partes iguales: de modo que si suponemos el plano de la seccion $mno p$ en movimiento desde b á a resultará, que el paralelógramo cambiando de forma, engendrará el tetraedro; y su diagonal, la superficie alaveada cuyas generatrices dividirán en dos partes iguales todos los elementos de la pirámide; ó lo que es lo mismo la superficie alaveada dividirá en dos partes iguales el volúmen del tetraedro.

Demostrado esto, ya podemos determinar inmediatamente el volúmen que buscamos; puesto que se compondrá de los dos prismas triangulares truncados $abd a'b'd'$ y $dbc d'b'c'$, mas la mitad del volúmen de la pirámide triangular; ó lo que es lo mismo, de los dos prismas $abc a'b'c'$ y $adc a'd'c'$, menos la mitad de la misma pirámide, ó espresado algebráicamente

$$V = p + p' + \frac{1}{2} \Delta \text{ y } V = P + p' - \frac{1}{2} \Delta$$

$$\text{y por consiguiente } 2V = P + P' + p + p' \text{ ó } V = \frac{P + P' + p + p'}{2}$$

Pero si representamos por c, c', c'', c''' , las cotas de los puntos a, b, c, d ó sean las aristas $a'a', bb', cc', dd'$ del prisma y por a, a', a'', a''' , las áreas de los cuatro triángulos en que queda dividida la base por las dos diagonales, tendrémós

$$P = a \times \frac{1}{3} (c + c' + c'');$$

$$P' = a' \times \frac{1}{3} (c' + c'' + c''');$$

$$p = a'' \times \frac{1}{3} (c + c' + c'');$$

$$p' = a''' \times \frac{1}{3} (c + c'' + c''');$$

Pero siendo bc paralela á ad , las superficies de los triángulos bad y dac son iguales, así como las cab y bdc , por consiguiente $a = a''$ y $a' = a'''$ por consecuencia

$$V = \frac{1}{6} [a(2c + 2c' + c'' + c''') + a'(2c'' + 2c''' + c + c')],$$

Esta fórmula puede servirnos para todos los casos que puedan presentarse, cuando el volúmen se halla comprendido entre dos perfiles trasversales no paralelos; ó entre una línea de paso y un perfil trasversal; en este último caso, serán cero una ó dos de las cotas y la fórmula se simplificará.

El caso que mas generalmente ocurre, es aquel en que el prisma se halla comprendido entre dos perfiles perpendiculares al eje y dos planos verticales paralelos á él. Entonces la base es un rectángulo y por consecuencia $a = a'$ y la fórmula se reduce á $V = \frac{1}{6} a (3c + 3c' + 3c'' + 3c''')$ ó

$$V = \frac{1}{2} a (c + c' + c'' + c''') = a \left(\frac{c + c'}{2} + \frac{c'' + c'''}{2} \right)$$

Pero si consideramos los dos perfiles trasversales consecutivos (fig. 64) y los dos planos verticales me, np ; el prisma pro-

yectado segun $mepn$ tendrá por volúmen segun la fórmula anterior, el que resulta sustituyendo los valores siguientes

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{1}{2} \text{ sup.}^e m n p e = \frac{1}{2} m n \times m e \\ c &= m c; c' = b d; c'' = e g; c''' = f h \end{aligned} \right\} V = \frac{1}{2} m n \times m e \left(\frac{m c + b d}{2} + \frac{e g + f h}{2} \right)$$

de donde $V = \frac{1}{2} m e \left(\frac{m c + b d}{2} \times m n + \frac{e g + f h}{2} \times m n \right);$

pero $\left\{ \begin{aligned} \frac{m c + b d}{2} \times m n &= \text{sup.}^e m b d c = s \\ \frac{e g + f h}{2} \times m n &= \text{sup.}^e e f h g = s' \end{aligned} \right\}$ de consiguiente

$$V = \frac{1}{2} m o (s + s'); \text{ ó llamando } d \text{ la distancia entre los perfiles}$$

será $V = d \left(\frac{s + s'}{2} \right)$

De aquí resulta que el volúmen total comprendido entre dos perfiles trasversales, que será la suma de dos ó mas de estos volúmenes parciales, tendrá por espresion $V = d \left(\frac{s + s'}{2} \right);$ ó lo que es lo mismo será igual á la *semisuma de las áreas de los perfiles, multiplicada por la distancia entre ellos.*

Suponiendo en la fórmula general ó en las particulares una ó mas aristas iguales á cero, y que la base del prisma es un cuadrilátero, triángulo etc, tendremos todos los casos particulares que pueden presentarse en la práctica, y únicamente haremos observar que en estos casos, la generacion de la superficie alaveada sufrirá una ligera modificacion, pero siempre resultando en la fórmula una aproximacion mas que suficiente.

Este método que acabamos de esponer para calcular los volúmenes, es el que se conoce con el nombre de *método exacto*, pues por su medio, nos aproximamos cuanto es dable á la determinacion de los que queramos determinar; aunque es bien evidente que no es de una exactitud matemática, puesto que se funda en considerar la superficie del terreno, como alaveada, lo cual no se verifica; si bien se aproximará tanto mas á ella

cuanto mas inmediatos se tomen los perfiles trasversales ó menos desigual sea el terreno; de modo que en todos los casos, podremos obtener el verdadero volúmen con mas aproximacion que la que es necesario para el cálculo de esta clase de obras,

Segundo método.

Como la fórmula general es algo complicada y exigiría muchos cálculos, principalmente cuando entre los dos perfiles consecutivos existiera una línea de paso, se emplea rara vez, y se sustituye generalmente por el método de las áreas medias de las secciones extremas; es decir, que determinadas las superficies de dos perfiles trasversales consecutivos, se multiplica su semisuma por la distancia que las separa, método que como hemos visto es el que da la fórmula general para el caso en que los perfiles trasversales son normales á la direccion de la carretera y paralelos entre sí. Veamos como aplicamos esta fórmula á todos los casos que puedan presentarse en la práctica.

Sean S y S' las áreas de los perfiles trasversales consecutivos separados por una distancia D , llamemos V^d el volúmen en desmonte y V^t el terraplen.

Pueden presentarse los casos siguientes:

1.° Supongamos (fig. 65) los dos perfiles en desmonte ó en terraplen. En este caso la fórmula general nos dará $V^d = \frac{S+S'}{2} D$; ó $V^t = \frac{S+S'}{2} D$.

2.° Si un perfil se halla en desmonte (fig. 66) y el otro en terraplen, debemos considerar que en el intermedio existirá una línea de paso pp' , y una seccion cuya superficie podremos suponer igual á cero; en cuyo caso, tendremos contando con esta seccion intermedia

$$V^d = \frac{S}{2} l; V^t = \frac{S'}{2} l'; \text{ siendo } l+l'=D.$$

Estas fórmulas son evidentemente defectuosas en casi todos

los casos; porque por lo general la línea de paso pp' , no será ni perpendicular al eje ni una línea recta, sino muy irregular y quebrada, y aunque los valores de l y l' pudiéramos determinarlos hallando la distancia media de cada perfil á la línea de paso, esto nos conduciría á cálculos y construcciones gráficas numerosas, aunque sencillas, que pueden reemplazarse ventajosamente por fórmulas que nos den desde luego los volúmenes que buscamos, con solo suponer las líneas de paso á una distancia, media proporcional á las superficies de los perfiles; es decir, que siendo estas áreas S y S' y l y l' las distancias medias tendríamos

$$S : S' :: l : l';$$

y por consiguiente

$$\left. \begin{array}{l} S + S' : S :: l + l' : l \\ S + S' : S' :: l + l' : l' \end{array} \right\} l + l' = D \left\{ \begin{array}{l} S + S' : S :: D : l; \quad l = \frac{S D}{S + S'} \\ S + S' : S' :: D : l'; \quad l' = \frac{S' D}{S + S'} \end{array} \right.$$

por consiguiente tenemos l y l' conocidas y por consecuencia resultará

$$V^d = \frac{S}{2} \times \frac{S D}{S + S'} = \frac{S^2}{S + S'} \times \frac{D}{2}; \quad V^t = \frac{S'}{2} \times \frac{S' D}{S + S'} = \frac{S'^2}{S + S'} \times \frac{D}{2}.$$

3.º Si los dos perfiles se hallan á media ladera y tienen ambos una parte en desmante y otra en terraplen (fig. 67), obtendremos los volúmenes del mismo modo por medio de las fórmulas $V^d = \frac{s_1 + s'_1}{2} D$; $V^t = \frac{s_2 + s'_2}{2} D$.

4.º Si uno de los perfiles está en desmante y el otro á media ladera, tendremos trazando la recta ab (fig. 68) la combinación del primero y tercer caso, y las fórmulas serán

$$V^d = v^d + v^{,d} \left\{ \begin{array}{l} v^d = \frac{s_1 + s'_1}{2} D; \\ v^{,d} = \frac{s^2}{s + s'} \times \frac{D}{2}; \end{array} \right. \quad V^t = \frac{s'^2}{s + s'} \times \frac{D}{2};$$

5.° Ultimamente, si los perfiles consecutivos se hallaren á media ladera y con las superficies de terraplen y desmonte de distinto lado (fig. 69), tendremos una nueva combinacion del segundo caso, trazando la recta mn ; y las fórmulas nos darán

$$V^d = v^d + v',^d \left\{ \begin{array}{l} v^d = \frac{s,^2}{s, + s',} \times \frac{D}{2}; \\ v',^d = \frac{s',^2}{s, + s',} \times \frac{D}{2}; \end{array} \right. \quad V^t = v^t + v',^t \left\{ \begin{array}{l} v^t = \frac{s,^2}{s, + s',} \times \frac{D}{2} \\ v',^t = \frac{s',^2}{s, + s',} \times \frac{D}{2} \end{array} \right.$$

De este modo, tenemos comprendidos todos los casos que en la cubicacion de la esplanacion pueden presentarse; faltándonos solamente para obtener su volúmen, determinar las superficies de los perfiles trasversales, ó sean los valores de s, s', S, S' .

Tercer método.

Otro método propuesto por Mr. Noel puede emplearse para el cálculo del movimiento de tierras; que consiste en determinar directamente en el terreno el perfil medio, y multiplicar su superficie, por la longitud correspondiente. Mas este método cuya ventaja es la de evitar el tener que hacer las sumas y divisiones que exige el cálculo de la seccion media entre dos consecutivas, tiene el inconveniente de no ser muy exacto, si los perfiles no se hallan muy próximos; y de exigir cuidados y dificultades el buscar, á la simple inspeccion, los perfiles convenientes del terreno que puedan considerarse como medios entre dos tomados á distancias iguales de uno y otro lado; dificultad de alguna entidad al hacer las operaciones de un trazado; pero que se disminuye, si se trata de cubicar el volúmen de una esplanacion ya ejecutada, en cuyo caso puede este último método introducir alguna simplificacion.

Comparacion de
los tres métodos.

Si comparamos estos tres métodos de cálculo, y para ello aplicamos las fórmulas á un caso particular, como por ejemplo, al caso en que las superficies de los perfiles nos sean conocidas,

:

y representadas por dos cuadrados cuyos lados sean m y n tendríamos

Método exacto (1) $V = \frac{d}{5}(m^2 + mn + n^2);$

Media de las áreas $V = d \left(\frac{m^2 + n^2}{2} \right);$

Área media $V = d \left(\frac{m+n}{2} \right)^2;$

Si para comparar estas fórmulas sustituimos en ellas $n=m+k$, se trasformarán en

1.° $V = d \left(m^2 + mk + \frac{k^2}{3} \right);$

2.° $V = d \left(m^2 + mk + \frac{k^2}{2} \right);$

3.° $V = d \left(m^2 + mk + \frac{k^2}{4} \right);$

De esta comparacion resulta: que el método del área media de las secciones extremas, se aproxima por esceso al método exacto, mas que al tercero, que da un volúmen algo menor que aquel; por esta razon y las consideraciones ya espuestas, se prefiere el segundo método á los otros dos, y es el que mas generalmente se emplea en la práctica.

Calculos de las
áreas de los
perfiles.

El cálculo pues, de los volúmenes de la esplanacion se reducirá por lo dicho, á la determinacion de las superficies de los diferentes perfiles trasversales; lo cual podrá hacerse directamente, dibujándolas en grande escala y determinándolas gráfi-

(1) Segun la forma deducida para el caso de un trapecio $V = \frac{1}{6} \left[a(2c + 2c' + c'' + c''') + a(2c'' + 2c''' + c + c') \right]$ pero $c = c' = m$; y $c'' = c''' = n$; y $V = \frac{1}{6} \left[a(4m + 2n) + a'(2m + 4n) \right]$; y como $a = \frac{1}{2} d \times m$ y $a' = \frac{1}{2} d \times n$ tendríamos $V = \frac{1}{6} \left[\frac{1}{2} dm(4m + 2n) + \frac{1}{2} dn(2m + 4n) \right] = \frac{1}{6} \left[d(4m^2 + 2mn + 2mn + 4n^2) \right] = \frac{d}{5} (m^2 + mn + n^2);$

camente, bien recurriendo á fórmulas y construcciones geométricas ó á tablas al efecto calculadas.

Si, por ejemplo, consideramos (fig. 70) un perfil $abcdh$, sobre el cual la esplanacion vaya en terraplen, podremos determinar la superficie de este perfil a, b, d, h, f', c' , sumando los triángulos abb' , ghg' y los diferentes trapecios que forman las verticales bb' , cc' , dd' , etc., cuyas longitudes conoceremos gráficamente ó por medio de la nivelacion trasversal.

Mas como en la estrecha zona que ocupa una carretera, no existirán por lo general tan notables accidentes é irregularidades en el terreno, que hagan muy quebrada la corta longitud que el perfil trasversal comprende; y como por otra parte, en los medios prácticos de medicion, existen otras causas de error que hacen inútil una escrupulosidad suma en la cubicacion de estas esplanaciones, puede suponerse sin error de trascendencia, que los perfiles trasversales están compuestos de dos líneas rectas, una á cada lado del eje y que señalan la pendiente media de uno y otro lado del terreno sobre que ha de insistir ó practicarse la esplanacion; rectas que se confundirán en una sola, en muchos casos en que pueda considerarse aquel con una pendiente uniforme en la zona que cruza el trazado. En ambos casos los cálculos de las superficies se simplifican considerablemente como vamos á ver.

Mr. Fourier, que fué el primero en deducir fórmulas apropiadas á todos los casos, y que construyó algunas tablas numéricas para simplificar el cálculo de los movimientos de tierra, consideró separadamente cada semiperfil en las distintas posiciones que podia tener el terreno con relacion al perfil de la esplanacion, y obtuvo en consecuencia espresiones algebráicas, que le dieron en cada caso las superficies en desmonte ó en terraplen.

Supongamos por ejemplo el semiperfil $abcd$ de la carretera (fig. 71) y el fd del terreno; la superficie S de la fig. $abmcd$ que queremos determinar, será: llamando c el área constante de la cuneta

$$S = ofd - oac + c;$$

$$S = \frac{of \times ed}{2} - \frac{oa \times ac}{2} + c$$

llamando L la latitud ac de la carretera incluyendo la de la cuneta; h la cota del eje; t la inclinacion del talud cd ; p la pendiente del perfil transversal df tendríamos

$$of = oa + af = oa + h = Lt + h;$$

$$ed \times t = oc = oa + af + fe = Lt + h + ed \times p;$$

de consiguiente

$$ed \times t - ed \times p = Lt + h; \quad ed = \frac{Lt + h}{t - p};$$

y por consecuencia

$$S^d = \frac{(Lt + h)^2}{2(t - p)} - \frac{L^2 t}{2} + c$$

cuya fórmula nos dá la superficie en funcion de cantidades conocidas para todos los perfiles en desmonte, y cuando la pendiente del terreno suba desde el eje. Si la pendiente del terreno fuera d' , entonces p cambiaria de signo y la fórmula seria

$$S^d = \frac{(Lt + h)^2}{2(t - p)} - \frac{L^2 t}{2} + c$$

Estas mismas fórmulas nos servirán para el caso de los terraplenes no contando con la seccion de la cuneta, ó haciendo $c=0$ y poniendo por L la anchura de la carretera, es decir L disminuida de la anchura de la cuneta, y serán; cuando la pendiente del terreno suba desde el eje. . .

$$S^t = \frac{(Lt + h)^2}{2(t - p)} - \frac{L^2 t}{2};$$

Si la pendiente del terreno baja desde el eje $S^t = \frac{Lt + h}{2(t - p)} - \frac{L^2 t}{2};$

En cada uno de estos casos, puede presentarse aquel en que el semi-perfil se halle una parte en desmonte y otra en terraplen; lo cual nos dará otras cuatro fórmulas que comprenderán los dos casos que se representan en la figura.

En el caso de la (fig. 72) el volúmen en terraplen será el afn que tendrá por espresion

$$S^t = \frac{af \times an}{2} \left\{ \begin{array}{l} S^t = \frac{h^2}{2p} \\ af = h; \frac{af}{an} = p; an = \frac{af}{p} \end{array} \right.$$

$$S^d = ncd + c = fod - fnc + c = fod - (oac - afn) + c$$

$$fod = \frac{1}{2} of \times ed \text{ pero como hemos deducido anteriormente}$$

$$of = Lt + h; ed = \frac{Lt + h}{t - p} \text{ luego}$$

$$S^d = \frac{(Lt + h)^2}{2(t - p)} - (oac - afn) + c$$

$$\text{pero } oac = \frac{oa \times ac}{2} \left\{ \begin{array}{l} oa = Lt \dots \dots \end{array} \right. oac = \frac{L^2 t}{2}$$

$$afn = S^t \dots \text{por lo tanto}$$

$$S^d = \frac{(Lt + h)^2}{2(t - p)} - \left(\frac{L^2 t}{2} - S^t \right) + c$$

En el caso de la (fig. 73) podemos, siguiendo la misma esplicacion, obtener las fórmulas correspondientes que serán estas mismas, sustituyendo en ellas l en vez de L , haciendo p negativo y suprimiendo c .

$$S^d = \frac{h^2}{2p}$$

$$S^t = \frac{(lt + h)^2}{2(t + p)} - \left(\frac{l^2 t}{2} - S^d \right)$$

Estas fórmulas y algunas otras deducidas para los casos en que el perfil del terreno cortára al de las cunetas, son las que han servido para el cálculo de las tablas de Mr. Lalanne; debiendo para emplearlas, tener presente los límites, que señalan

los valores de h y p , en el tránsito de uno á otro de los casos que hemos considerado; límites que no nos detenemos á determinar, porque con suma facilidad se deducen, y harian por otra parte alargar demasiado estas consideraciones; pudiendo consultar para mayores detalles el apéndice núm. 4 al tomo 1.º de la quinta edicion del curso de construccion de M. Sganzin, ó el capítulo 10 del Manual de Puentes y Calzadas de M. Gaiffier.

Mr. Sallebert ha propuesto para ejecutar estos cálculos, fórmulas en funcion de la latitud horizontal de la zona de terreno ocupada por la esplanacion; anchura que será necesario calcular de antemano para cada perfil, ó bien determinarla gráficamente sobre los dibujos de los perfiles trasversales.

Llamando A á esta anchura que en la (fig. 74) será la fe , L la ac y $ad = h$ tendrémos

$$S = abcf d = acfe - fed + c = \frac{A+L}{2} ae - \frac{A \times ed}{2} + c$$

$$\left. \begin{aligned} ae &= fm = mc \times t = (A-L)t; \\ ed &= (ea - ad) = (A-L)t - h; \end{aligned} \right\} S = \frac{A+L}{2} (A-L)t - \frac{A(A-L)t - Ah}{2} + c$$

$$S = \frac{L}{2} (A-L)t + \frac{Ah}{2} + c = \frac{1}{2} A(Lt + h) - \frac{L^2 t}{2} + c$$

fórmula que solo tiene variables el semi-ancha A de la zona y la cota del eje h . Del mismo modo deducirémos las fórmulas correspondientes á los demas casos que pueden presentarse, como hemos hecho anteriormente.

Suponiendo los diferentes anchos de las carreteras y fijando para los taludes de los desmontes y terraplenes una inclinacion determinada, obtendrémos las diversas superficies, segun vayamos dando, para cada inclinacion del terreno, diferentes valores á las cotas del eje. De este modo se han formado diversas tablas por varios Ingenieros, tendiendo todos á abreviar

lo mas posible el mucho tiempo que se invierte en el cálculo del movimiento de tierras, de todo proyecto de carretera.

Métodos gráficos.

Con este objeto se han formado cuadros gráficos por medio de los cuales puede determinarse á priori, los valores de las superficies de desmonte y terraplen, construyendo al efecto los lugares geométricos de las diferentes fórmulas.

Para formarse una idea cabal del modo de formar estos cuadros, supongamos la fórmula que hemos deducido anteriormente

$$S = \frac{(Lt+h)^2}{2(t-p)} - \frac{L^2 t}{2} + c$$

Si suponemos una carretera cuyo ancho sea 10 metros; que los taludes de los desmontes sean á 45° y que la cuneta tenga un metro de anchura en la parte superior, 0,5 en la inferior y 0,4 de altura, tendremos

$$L=6; t=1 \text{ y } c=0,75 \times 0,4=0,3$$

de consiguiente

$$S = \frac{(6+h)^2}{2(1-p)} - \frac{36}{2} + 0,3 = \frac{(6+h)^2}{2(1-p)} - 17,7;$$

esta ecuacion representa en general una superficie cuyas coordenadas son los valores de h , p y S , pero si suponemos esta superficie cortada por diversos planos paralelos correspondientes á diferentes valores de S , y proyectamos sobre el plano de las h , p , las curvas de seccion, tendremos representadas en este plano, una série de curvas, que cada una corresponderá á un valor determinado de S ; de modo que si se nos dan los valores h y p , estos nos fijarán un punto en su plano, que

correspondiendo á una de estas curvas nos marcará el valor de S que buscamos.

Supongamos por ejemplo en la fórmula anterior que hacemos $S=10$ se convertirá en

$$10 = \frac{(6+h)^2}{2(1-p)} - 17,7; \quad 20(1-p) = (6+h)^2 - 55,4(1-p);$$

$$(6+h)^2 = 55,4(1-p);$$

Si trazamos dos ejes coordenados (fig. 75) y tomamos sobre op los diversos valores de p , esta ecuacion nos dará los correspondientes de h y obtendremos así una curva ab . Para otro valor de S por ejemplo $S=20$, determinaremos otra curva cd ; y así sucesivamente para los diferentes valores de S que podremos suponer tan cercanos como queramos. Si recordamos las cuatro fórmulas deducidas para el caso en que la cota del eje se halle en terraplen y la pendiente p cambie de signo, podremos hacer iguales construcciones para ellas, en los cuatro ángulos correspondientes de los ejes coordenados; y por lo mismo, tendremos representados en un solo cuadro todos los casos que pueden ocurrir: si bien será menester tener en cuenta aquellos, en que los semi-perfiles resultan parte en desmonte y parte en terraplen, y fijar gráficamente en las curvas, los puntos en que los valores de p y h son tales que satisfacen á los límites, es decir en que se verifica que $h=lp$, prescindiendo de la anchura de la cuneta.

Una vez ejecutadas estas construcciones para un ancho de una carretera y para un talud determinado, podemos formar otro cuadro para otra anchura diferente; consiguiendo de este modo, obtener aproximadamente sin necesidad de cálculos el

volúmen de los desmontes y terraplenes, en cualquiera caso que se presente.

Cuando el terreno es horizontal ó que por ser muy uniforme puede considerarse su perfil trasversal como una sola línea recta, los cálculos se simplifican considerablemente y las superficies se obtienen con mayor facilidad.

Tambien se simplifica notablemente la determinacion de las superficies, dibujándolas en grande escala sobre un papel cuadrículado y contando prácticamente el número de metros cuadrados que comprenden; ó bien colocando sobre los perfiles ya dibujados un papel transparente cuadrículado, en el cual se dibuja, arreglado á la misma escala, el perfil de la esplanacion que se superpone sobre los diferentes perfiles ya delineados en los planos.

Medios
mecánicos.

Para completar todo lo que nos proponemos decir respecto á las cubicaciones del movimiento de tierras, basta que hagamos alguna indicacion respecto á los *medios mecánicos* propuestos y empleados para la determinacion de las superficies.

Algunos Ingenieros propusieron hace algunos años el dibujar sobre una hoja de plomo de reducido espesor, las superficies de los diferentes perfiles, recortar estas y deducir de su peso las áreas correspondientes; método curioso pero que es poco exacto y no exento de dificultades.

Mr. Dupuit ha propuesto y empleado un medio muy notable para conseguir la determinacion de las áreas; el cual consiste en una ruedecilla de 0,^m10 de circunferencia colocada al extremo de un mango que la permite girar libremente. Una aguja vertical *o* (figura 76) fija en la prolongacion del mango, se apoya sobre la circunferencia dividida de la ruedecilla é indica en la rotacion

:

de esta, el número de divisiones que pasan durante su movimiento.

Como el desarrollo de la circunferencia de esta rueda, tiene de longitud un decímetro, y la suponemos dividida en diez partes, cada una será un centímetro; y así, si suponemos el punto de partida ó el cero colocado bajo la aguja y hacemos girar la rueda, nos irá marcando uno, dos, tres etc. centímetros hasta dar una vuelta completa y señalar diez.

Se comprende fácilmente que si puesto el 0 debajo de la aguja, colocamos la ruedecilla vertical y su division cero en el primer punto de una recta, y la hacemos rodar conservándola en esta posición á lo largo de ella pasando por sus diferentes puntos, si al llegar al último, el índice ó aguja señala por ejemplo 8 resultará para longitud efectiva de la recta 0,08 sino ha dado una vuelta completa; 0,18 si ha dado mas de una vuelta; ó 0,28 si hubiese dado mas de dos y así sucesivamente.

Para determinar el número de vueltas que da la rueda mayor, ha colocado Mr. Dupuit otra mas pequeña que engrana con ella y que solo da una vuelta por cada diez de aquella, de modo que estando esta última dividida en diez partes, cada una de sus divisiones nos dará una vuelta completa de la mayor. Un segundo índice B señala el número de las divisiones recorridas.

Con esta esplicacion se comprende el uso de este instrumento para medir la longitud de una recta, y para sumar dos ó mas longitudes dibujadas; y valiéndose de él, su inventor ha determinado las diferentes superficies trazando en ellas ordenadas separadas entre sí la unidad; de modo, que dividida la superficie en trapecios cuya altura es comun é igual á la unidad, su estension estará representada por la suma de todas sus ordenadas, menos la semi-suma de los dos extremos.

Escusado creo presentar un ejemplo del uso de este instrumento, porque la esplicacion dada y la inspeccion de la figura basta para comprender su empleo; pero su uso, aunque economiza algun trabajo, exige una escrupulosa construccion de su mecanismo, y se halla espuesto á muchos errores bien por la dificultad de fijar exactamente el principio y fin de la rotacion, bien porque durante ella, resbale la circunferencia de la rueda en vez de girar.

Su inventor dice: que la diferencia del resultado del cálculo al que da el instrumento, nunca es mayor del 2 ó 3 por 100, y que no obteniéndose tampoco analíticamente una completa exactitud, puede considerarse su método tan exacto como aquel; tanto mas, teniendo presente que la exactitud de él, aumenta á medida que la escala de las alturas de los perfiles es mas considerable. Añade tambien que se ejecuta esta operacion con mas rapidez que con las tablas, bastando dos ó tres minutos para calcular cualquier perfil.

Planimetros.

Otros instrumentos se han empleado tambien con este objeto, como son los diferentes *planímetros* inventados por varios constructores y que miden con mas ó menos exactitud y con mas ó menos velocidad las diversas superficies; mas como la descripcion de cada uno de ellos nos ocuparia demasiado, si había de ser completa, nos abstenemos de presentarla, concretándonos por lo tanto á citar entre estos instrumentos los de Ernst, Erthel, Eliot, y el mas sencillo de todos de Amster's que tiene la ventaja de reunir á su fácil manejo, el no ocupar mas espacio que el de un compas ordinario, cuya forma afecta.

De todos modos, como en lo general, las superficies de los perfiles de una carretera no presentan formas muy complicadas

puesto que sus esplanaciones no ocupan ni deben ocupar una gran zona de terreno, en la mayor parte de los casos recurrirémos al cálculo, medios gráficos ó tablas de antemano calculadas, para determinar las áreas que se buscan; sin perder nunca de vista, que cualquiera que sea el medio que empleemos, nunca debemos pensar que el resultado que obtengamos tenga un grado estremado de exactitud, pues siempre se hallará basado en datos aproximados.

Calculadas las superficies de los perfiles por cualquiera de los procedimientos que hemos indicado, obtendrémos por las fórmulas deducidas páginas 122, 123 y 124 los volúmenes en desmonte y terraplen, y por consecuencia el movimiento general de tierras de toda la línea.

Si los terrenos estuvieran compuestos en cada localidad de una sola roca, con la cubicación así determinada y las anotaciones hechas en las libretas referentes á su naturaleza, tendríamos lo bastante para clasificar los desmontes con exactitud; pero no siendo así y presentándose las diversas formaciones, es necesario, bien hacer frecuentes catas ó pozos para determinar con alguna aproximacion la naturaleza de las rocas que hay que desmontar, ó contentarse con deducir de las observaciones hechas en la superficie, en las cortaduras naturales, pozos, etc., los bancos probables de terreno que se hallarán en cada paraje debajo de la capa vegetal que por lo general cubre la superficie, y apreciar con la aproximacion que es posible en cada desmonte el volúmen de cada clase de roca que habrá que remover.

Esto último es lo que mas generalmente se practica, y se comprende muy bien que el conocimiento geológico del terreno y la práctica, es lo único que en estas apreciaciones puede guiar.

OBRAS DE FÁBRICA.

La cubicacion de las obras de fábrica, ó sea el cálculo de los volúmenes de los diferentes materiales que han de entrar en su construccion, se ejecuta dividiendo sus diferentes partes en formas regulares, y determinando en cada una de ellas, separadamente, las partes que han de ejecutarse con diferente material.

Para ejecutar estas cubicaciones con orden y claridad y poder fácilmente descubrir y corregir las equivocaciones que en los cálculos puedan cometerse, conviene formar para cada obra un estado semejante al que se presenta á continuacion; y en el cual, despues de inscritos los diversos datos tomados sobre los planos de los proyectos de cada obra, se calculan los diferentes volúmenes que se consignan en la casilla correspondiente.

PONTON DE.

INDICACION DE SUS PARTES y clase de fábrica.		Número de partes iguales.	DIMENSIONES.					
			LINEALES.			SUPERFICIA- LES.		CUBICAS
			Lon- gitud.	Lati- tud.	Grue- so ó altura.	Par- ciales.	Tota- les.	Par- ciales.
Cimientos	Escavacion	Estribos	"	"	"	"	"	"
		Aletas	"	"	"	"	"	"
	Mamposte- ria ordi- naria.	Estribos	"	"	"	"	"	"
		Aletas	"	"	"	"	"	"
			"	"	"	"	"	"
			"	"	"	"	"	"

Calculado en esta forma el volúmen de las diferentes partes de cada obra y formado un estado para cada una, tenemos cuan-

tos detalles necesitamos para la formacion detallada de los presupuestos.

Escusado seria insistir ahora en el modo de hacer el cálculo propiamente dicho de los volúmenes, pues la geometría elemental suministra los medios y fórmulas que necesitamos para ello, bastando solamente un poco de atencion para subdividir convenientemente cada una de las partes de las obras, en sólidos geométricos de inmediata cubicacion; y cuyas diferentes dimensiones determinaremos gráficamente sobre las proyecciones de cada uno de los proyectos: solamente harémos notar, que algunas veces se suelen medir ciertas partes de estas obras por unidades lineales ó superficiales; como por ejemplo, los pretiles, las losas de coronacion, las impostas, las losas de tapa, etc., y en general aquellas partes que tienen una ó dos dimensiones constantes.

AFIRMADO.

Respecto á la cubicacion de los firmes poco tenemos que es-
poner: proyectados de uno á otro extremo de la carretera con una misma forma y por lo general con las mismas dimensiones, su medicion se presenta ordinariamente por metros lineales y por lo mismo está reducido el cálculo de su volumen, al de un solo metro lineal; cuya cubicacion se hace inmediatamente, tan pronto como se fija su forma y el número de capas de piedra que le han de formar; debiendo determinarse siempre separadamente el volumen parcial de cada capa, puesto que el valor de ellas será siempre diferente, como lo será tambien el valor del recebo que constituye la última capa que completa el afirmado.

VALORACION.

Conocido el número de unidades que componen las distintas clases de obras, ó sean sus respectivos volúmenes, obtendremos su valoracion ó el importe de su presupuesto, si determinamos el coste de cada una de dichas unidades.

La base de esta determinacion, se comprende desde luego que será el valor medio de los jornales en cada localidad; pues aunque el precio de los jornales se halle sujeto á fluctuaciones ó variaciones durante las distintas épocas del año, producidas por el desarrollo mas ó menos grande de las obras, y por la mayor ó menor demanda de brazos para las diversas faenas agrícolas, etc., siempre en cada localidad puede asignársele un cierto valor medio, que puede para nuestros cálculos, considerársele como constante en toda la duracion de la obra.

Fijados ó averiguados los jornales que han de pagarse á los diferentes operarios, como peones, albañiles, canteros, carpinteros, etc., así como tambien el que devengan los carros tirados por una ó dos caballerías, por bueyes, etc., y en general los diversos medios de trasporte que se empleen, basta averiguar el trabajo que cada jornal puede ejecutar, para deducir el valor de la unidad de cada clase de obra.

Supongamos, por ejemplo, que un jornalero pueda escavar en un dia un volúmen de ocho metros cúbicos; es evidente que si su jornal es de 6 rs., el metro cúbico de escavacion costará $\frac{6}{8}$ rs. = 0^m,75 rs.; y si un carpintero cuyo jornal sea de 12 rs. puede hacer al dia 10 empalmes á media madera, la ejecucion de cada empalme costará $\frac{12}{10}$ = 1,2 rs. Este sencillo cálculo basado en la observacion y la práctica, unido muchas veces á

los precios de antemano establecidos en las localidades para algunos materiales que entran en la composicion de las obras, constituye el fundamento ó la base de sus presupuestos.

Esplanacion.

Las esplanaciones, están reducidas al desmonte de las rocas y á la ejecucion de los terraplenes; y para ejecutarlas, es preciso hacer distintas maniobras, cuyo valor entra á constituir los precios elementales de ellas.

En los desmontes, es necesario considerar la escavacion propriamente dicha y el trasporte de las tierras removidas; las cuales deberán colocarse en los terrenos inmediatos á dicha escavacion ó bien servirán para la formacion de los terraplenes contiguos. En el primer caso, en el precio del desmonte se comprenderá, no solo la escavacion, sino tambien la carga y trasporte de las rocas removidas; y en el segundo, deberémos separar el desmonte propriamente de lo que constituye la ejecucion del terraplen; es decir, que en el precio del desmonte podrémos hacer entrar como anteriormente, la escavacion y la carga ó separacion de la roca estraida; y en el precio del terraplen, el *trasporte* de las tierras, la *descarga* y el arreglo de ella para la formacion de la esplanacion.

En los últimos formularios para la redaccion de los proyectos de carreteras aprobados por Real órden de 1.º de marzo de 1859, se prescinde de asignar precio á los terraplenes; considerando que teniendo para ejecutarlos que hacer indispensablemente escavaciones y trasportes, ya sean las tierras que se empleen productos de los desmontes de la carretera, ó ya sea menester extraerlas de los terrenos inmediatos, pueden siempre reducirse los precios de los terraplenes á los de las escavaciones y de la conduccion. En este caso, al hacer el presupuesto será menester estudiar cuidadosamente y clasificar los desmontes de

la carretera cuyos productos se emplearán en los terraplenes de la misma, aquellos cuyas tierras se depositarán en caballeros, y los terraplenes que deben ejecutarse con tierras de *préstamo*, ó sean estraidas de los lados de la carretera.

En estos tres casos, solo tendremos que fijar el precio de la escavacion y el valor del trasporte, incluyendo el de la carga, descarga y arreglo de las tierras; resultando ademas, que asi como en el primer caso fijados los precios para el desmonte y terraplen, les multiplicaríamos por el número total de unidades de cada uno; en el segundo caso, el precio total del movimiento de tierras se obtendrá midiendo las escavaciones practicadas y las distancias medias de trasporte y aplicando sus valores respectivos.

Cualquiera que sea el modo que adoptemos para presentar el presupuesto de la esplanacion, tendremos siempre que prefi-
jar el precio de los trasportes en cada caso; y por lo tanto, de-
terminar la longitud del camino que deberá recorrerse, ó sean las *distancias medias* de los *trasportes*.

Trasportes.

Sin entrar en consideraciones teóricas respecto á estas dis-
tancias y al modo de determinarlas con mas ó menos exactitud
en la infinidad de casos que pueden ocurrir, harémos observar
que en los que se presentan en las carreteras, la distancia me-
dia entre una zona de desmonte y el terraplen correspondiente
formado con sus productos, está representada por la distancia
que separa sus centros de gravedad, siempre que no estemos
obligados á pasar con los terraplenes por un punto determinado
de sujecion; ó que la línea en cuya direccion se hace el desmonte
no sea casi normal á la del terraplen.

Distancias
medias.

De aquí resulta, que determinando el centro de gravedad de
los volúmenes de desmonte y terraplen, tendremos averiguada

la distancia media ; y en el caso de que queramos fijar una distancia media general para todo un trozo de carretera y establecer en consecuencia un solo precio para los terraplenes , obtendremos esta distancia por la fórmula

$$D = \frac{V d + V' d' + V'' d'' + \text{etc.}}{V + V' + V'' + \text{etc.}} \text{ llamando}$$

$V, V', \text{ etc.}$, los volúmenes y $d, d', \text{ etc.}$, las distancias respectivas á que han de trasportarse.

Si el camino que ha de seguirse con los trasportes tiene un punto de sujecion , como por ejemplo , un puente , por el cual tiene precisamente que pasar , entonces la distancia media se compondrá de las dos parciales contadas desde el citado puente; y si fueran dos los puntos precisos de paso , será menester elegir la parte del desmonte , cuyos productos habrán de pasarse por cada uno de ellos para formar la correspondiente del terraplen; partes que se apreciarán prácticamente y que deberán hallarse limitadas , por una curva en la que se verifique que las distancias entre sus puntos correspondientes de desmonte y terraplen pasando por uno y otro de los puntos fijos , sean iguales; pues á partir de esta curva , las distancias de transporte serán mas cortas por uno ú otro de los puntos de paso. La curva que resulta , segun puede deducirse con un poco de reflexion , será una hipérbola cuyos focos son los puntos fijos.

Cuando el desmonte tiene un volumen superior al terraplen , y que por consecuencia una parte de sus tierras deben separarse fuera de la carretera , es necesario prefijar qué parte del desmonte conviene emplear en el terraplen , la cual siempre será , la que dé una distancia de transporte mínima.

No nos detenemos á examinar los muchos casos que pueden presentarse, porque su solucion se descubre desde luego; y por lo tanto, nos concretaremos á indicar el medio práctico que puede emplearse para determinar los centros de gravedad de los volúmenes de desmonte y terraplen, base de la fijacion de las distancias medias de transporte.

Para esta determinacion se traza una línea horizontal *ad* (fig. 77), se toman sobre ella puntos *a, b, c, d*, separados entre sí lo que los perfiles trasversales; se levantan en estos puntos perpendiculares *a a', b b', c c', d d'*, de longitudes proporcionales á las áreas de los respectivos perfiles, y hallando los centros de gravedad de estas figuras *G, G'*; su distancia *mn* será la que buscamos.

Para mayor simplificacion y evitar el cálculo ó construccion de la verdadera situacion del centro de gravedad de cada trapecio, se puede suponer que este se halla en la línea equidistante de sus lados paralelos; con esta suposicion se determinan á priori los centros de gravedad que buscamos, cuya posicion puede tambien apreciarse aproximadamente á la simple inspeccion de las figuras, y obtenerse así, con la suficiente exactitud, las distancias medias de transporte que se buscan.

Aquí debemos hacer una observacion respecto á los terraplenes ejecutados con tierras sacadas de los desmontes de la carretera, y los que se ejecutan con productos de las escavaciones practicadas en los terrenos contiguos al terraplen; es evidente que el coste de las tierras de los primeros será igual á $D + C$ llamando *D* al precio del desmonte y *C* al de la conduccion; y para las del segundo tendremos que introducir el valor de la espropiacion que podremos representar por *e*; así tendremos que un volumen *V* de tierras costará

En el 1.^{er} caso. . . $V = D + C$

En el 2.^o. $V = D' + c + E$

Por consecuencia á partir del caso en que se verifique que $D + C = D' + c + E$, serán tanto mas convenientes los préstamos, cuanto que $D + C > D' + c + E$ lo cual nos manifiesta lo que ya indicamos en la página 90 respecto al trazado de las rasantes; es decir, que tal puede resultar el valor de d , que no convenga trazarlas consiguiendo la compensacion entre desmontes y terraplenes; y que esta compensacion, solo debe procurarse entre desmontes y terraplenes inmediatos que nos den para d valores limitados.

Si fijadas las rasantes, queremos solamente averiguar hasta qué distancia conviene conducir los productos de los desmontes de la línea, ó lo que es lo mismo, en donde deben empezar los préstamos, reflexionarémos que teniendo que ejecutar de todos modos los desmontes marcados por las rasantes, no deberá entrar D en nuestra consideracion, por ser gasto siempre indispensable; y solo atenderémos á que el gasto de conduccion sea menor que el valor de la escavacion, trasporte y espropiacion de las tierras de préstamo; ó lo que es lo mismo, que solo convenirá conducir las tierras hasta la distancia en que se verifique que

$$C = D' + c + E$$

cantidades que son todas conocidas ó de fácil determinacion.

Presentadas estas consideraciones sobre los trasportes, que son uno de los elementos que influyen en el coste de las esplanaciones, vamos á fijar el modo de determinar en cada caso el coste del metro cúbico de movimiento de tierras.

Es evidente que solo la práctica y la observacion puede fijar

el trabajo que es capaz de ejecutar un operario diariamente, escavando un terreno; pero es evidente que el volúmen removido, será tanto menor cuanto mayor consistencia tenga el terreno ó mayor esfuerzo exija su remocion.

Trabajo
de un hombre
escavando.

Así mientras un operario puede escavar al dia 10, 12 ó 14 metros cúbicos de tierra floja vegetal, arena ó grava suelta, no escavará en tierra arcillosa, margosa ó compacta mas de 5 á 6 metros cúbicos; ni ejecutará en roca floja removida con picos, barras etc. mas de 2 á 3 metros cúbicos, ni desmontará tampoco mas de 1 á 1,8 metros cúbicos en roca saltada á barreno. Cuando estos trabajos se ejecutan en fango ó en terreno cubierto ó empapado en agua, la cantidad de obra ejecutada se reduce muy considerablemente; no pudiendo extraer un operario en el terreno mas flojo mas de 6 á 7 metros cúbicos.

Carga.

La carga de las tierras removidas en espuestas ó carretillas ó su traslacion ó arroje con la pala á una distancia de 2 á 3 metros, exige un tiempo de 0,60 á 0,70 horas por cada metro cúbico; ó lo que es lo mismo, un solo operario puede cargar ó trasladar al dia de 12 á 16 metros cúbicos de tierra. Si la roca removida fuera dura ó estraida en bloques, el volúmen de carga por jornal se reduce á 8 ó 9 metros cúbicos.

Con estos datos que nos suministra la práctica, y que se hallan consignados en muchas obras y en el *Manual de Caminos del Ingeniero Espinosa*, podemos venir en conocimiento no solo del precio á que debe resultar la unidad de desmonte, sino tambien del mejor medio de distribuir en las obras los trabajadores; pues se comprende á primera vista que si los cargadores colocados en un tajo no se halláran en relacion con los escavadores, ó estos se verian estorbados por las tierras ya escavadas, ó aquellos estarian ociosos algunos momentos, con perjuicio de

las obras; porque así como para cargar la tierra removida por un escavador en terreno flojo, se necesitará un cargador, cuando el terreno sea compacto, bastará también un solo cargador para separar las tierras escavadas por dos operarios; pues mientras estos últimos podrán desmontar de 5 á 6 metros cúbicos, aquel podrá cargar ó separar 12 metros de tierra removida.

Con estos datos podemos ya deducir el precio del metro cúbico de desmonte: y si suponemos que el jornal del operario es de 6 rs., tendremos que el coste de la escavacion será

En tierra floja.	$\frac{6}{12}$
En tierra compacta.	$\frac{6}{5}$
En roca floja.	$\frac{6}{2,5}$
En roca dura.	$\frac{6}{1,4}$

suponiendo que un hombre puede desmontar al día respectivamente 12; 5; 2,5 y 1,4 metros cúbicos de las rocas que consideremos.

Agregando á estas cantidades lo que cuesta la separacion de las tierras desmontadas á 2 ó 4 metros de distancia media, que es lo que sucede en las carreteras que marchan á media ladera, ó cuando los desmontes se depositan á los lados de la misma, y añadiendo también 0,2 á 0,5 en cada jornal por gastos de herramientas, resultará que el precio del desmonte podrá estar representado en general por $P = \frac{j}{d} + \frac{j}{c}$ representando por j el jornal comprendiendo el coste de la herramienta, por d el volumen que puede desmontar un hombre en un día, y por c lo que puede cargar y separar, en el mismo tiempo.

Para calcular el valor de los desmontes, cuando sus productos deban conducirse á una cierta distancia y depositarse en

caballeros, ó cuando haya de calcularse el valor de los terraplenes, es necesario determinar el precio de los trasportes y el de la descarga y arreglo de la tierra estraida.

Precios
de transporte.

Diversos medios pueden emplearse para el transporte de las tierras, como son las espuelas, carretillas, carretones, acémilas, carros y wagones; cada uno de los cuales convienen segun la distancia de trasporte, procurando en cada caso evitar la menor pérdida posible de tiempo, y conseguir la mayor economía.

Si fuera de nuestro propósito entrar en consideraciones respecto á la organizacion de los trabajos, y á los medios que en cada caso deben emplearse para conseguir en las esplanaciones la mayor economía, entraríamos en consideraciones respecto á la longitud de las *paradas*, es decir á determinar las *distancias desde las cuales conviene emplear uno ú otro de los medios de transporte* indicados. Mas no siendo de nuestro objeto, nos limitaremos á decir, que cuando no sea posible separar las tierras por medio de la pala por tenerlas que conducir á mas de 2 ó 3 metros de distancia, se emplea la espuela de la cual podrá hacerse uso hasta 20 ó 30 metros de distancia segun las circunstancias. A mayor distancia de trasporte, conviene emplear la carretilla; que podrá reemplazarse con el carreon, pasados 70 metros.

Si la distancia de trasporte escede de 150 metros, conviene hacer uso de los carros, y su empleo podrá ser conveniente hasta 500 metros; pero á mayor distancia deberá examinarse si es conveniente establecer wagones sobre carriles de hierro. Estos últimos casos, no es probable se presenten en la ejecucion de las carreteras, en que la remocion de tierras siempre se procura sea de pequeña consideracion.

Las distancias límites que acabamos de indicar, disminuyen

á medida que el camino que se recorre tiene pendientes superiores al 5 por 100.

Volviendo á nuestro objeto, vamos á determinar en cada caso, cual es el precio del transporte; y para obtenerle de la manera mas general, comprenderémos en él: la *carga*, el *transporte* propiamente dicho, y la *descarga*. En el cuadro siguiente consignamos los datos fundamentales para este cálculo, deducidos de la práctica.

MEDIOS DE TRASPORTE.	DISTANCIA que puede recorrer al día.	CANTIDAD de tierra que puede car- gar un hom- bre al día.	CAPACIDAD.	TIEMPO invertido en po- nerse en movimiento y descargar.
	Metros.	Metros.	Met. cúbicos.	Horas.
Espuerta.	25.000	16	0,015	»
Carretilla.	27.000	15	0,04	»
Carreton.	28.000	15	0,20	0,020
Carro de bueyes. . .	22.000	12	0,60	0,055
Carro con dos mulas.	30.000	12	0,60	0,055
Carro con tres mulas.	30.000	12	0,80	0,055

Espuertas
carretillos.

Llamando D la distancia media del transporte, j el jornal de un hombre, c el de un carro ya sea tirado por bueyes, caballos ó mulas y representando por T la duracion del trabajo diario y por t el tiempo que se invierte en la descarga, que puede considerarse nulo en los dos primeros casos puesto que no exigen apenas detencion en el obrero; tendrémos.

$$\left. \begin{array}{l} \frac{j}{16} \\ \frac{j}{15} \end{array} \right\} \text{Coste de la carga de un metro cúbico en espuertas ó carretillas.}$$

$$\begin{array}{l}
 \frac{25.000}{2D} \left. \vphantom{\frac{25.000}{2D}} \right\} \text{Número de viajes que pueden hacerse al día.} \\
 \frac{27.000}{2D} \left. \vphantom{\frac{27.000}{2D}} \right\} \\
 \frac{25.000}{2D} \times 0,015 \left. \vphantom{\frac{25.000}{2D}} \right\} \text{Número de metros cúbicos que se trasporta} \\
 \frac{27.000}{2D} \times 0,04 \left. \vphantom{\frac{27.000}{2D}} \right\} \text{por jornal.} \\
 \frac{2Dj}{25.000 \times 0,015} \left. \vphantom{\frac{2Dj}{25.000 \times 0,015}} \right\} \text{Coste del transporte de un metro cúbico.} \\
 \frac{2Dj}{27.000 \times 0,04} \left. \vphantom{\frac{2Dj}{27.000 \times 0,04}} \right\}
 \end{array}$$

Por consecuencia el valor de la carga y transporte de un metro cúbico de tierra á la distancia D , costará

$$\text{Con espuelas.} \quad \cdot \frac{j}{16} + \frac{2Dj}{25.000 \times 0,015} = \frac{j}{16} + \frac{2Dj}{375}$$

$$\text{Con carretillas.} \quad \cdot \frac{j}{15} + \frac{2Dj}{27.000 \times 0,04} = \frac{j}{15} + \frac{2Dj}{1080}$$

De estas fórmulas parece deducirse que aunque sea muy pequeña la distancia D , el precio del transporte con la carretilla es siempre menor que con la espuela; pero debemos tener muy presente, que cuando las distancias son muy reducidas ó inferiores á 20 metros, es muy embarazoso el uso de la carretilla; y por otra parte, siendo muy considerable el número de viajes, el tiempo perdido en la descarga y en dejar y tomar las carretillas, se hace muy sensible y muy superior al que se pierde con las espuelas, que continúa siendo casi inapreciable, conforme á lo que hemos supuesto para la deducción de estas fórmulas. Por esta razón, repetimos que el uso de la carretilla, no debe hacerse para distancias menores de 25 ó 30 metros segun los casos.

El coste de los demas medios de transporte, pueden reducirse á una sola fórmula; mas debe tenerse presente para deducirla, no solo el tiempo invertido en la descarga, sino tam-

:

bien aquel que se pierde mientras se carga el vehículo; cuyas pérdidas de tiempo no consideramos en los casos anteriores, por suponer la primera despreciable, y no existir la segunda puesto que en trabajos bien organizados, el obrero debe al llegar con su espuerta ó carretilla vacía, hallar otra cargada que toma sin desperdiciar momento.

Es evidente que la pérdida de tiempo durante la carga del vehículo, produce una disminucion en la distancia que puede recorrer al día, que está representada en cada viaje por la longitud que puede andar mientras se carga; y como un solo operario puede cargar, como hemos indicado, 12 metros cúbicos al día, si suponemos dos operarios ocupados en esta maniobra durante el tiempo T de duración del trabajo, tardarán en cargar un metro cúbico $\frac{T}{2 \times 12}$ y un vehículo de la capacidad

$$V, \frac{T}{2 \times 12} \times V = \frac{TV}{24}; (1)$$

El tiempo invertido en recorrer la distancia de transporte D y volver al punto de partida, estará representado en cada caso del modo siguiente;

$$\text{Carreton} \quad \frac{T}{28.000} \times 2 D = \frac{2 D T}{28.000};$$

$$\text{Carro de bueyes} \quad \frac{T}{22.000} \times 2 D = \frac{2 D T}{22.000};$$

$$\text{Carro con caballerías} \quad \frac{T}{30.000} \times 2 D = \frac{2 D T}{30.000};$$

$$\text{ó en general por } \frac{2 D T}{L} \text{ llamando}$$

L la longitud total del camino que puede recorrer cualquiera de los vehículos de transporte.

Si á esta espresion agregamos la (1) y el tiempo t perdido en la descarga, tendremos que el tiempo que se tarda en cada

viaje completo de ida y vuelta á la distancia D de transporte, estará representado por la fórmula

$$\frac{2 D \cdot T}{L} + \frac{T V}{24} + t = \frac{T (48 D + L V)}{24 L} + t;$$

y el número de viajes que pueden hacerse al día, resultará ser

$$\frac{T}{\frac{T (48 D + L V)}{24 L} + t} = \frac{24 L T}{T (48 D + L V) + 24 L t};$$

pero como en cada viaje solo se conduce un volúmen V de tierra, el número de metros cúbicos trasportados diariamente por cada vehículo será

$$\frac{24 L V}{48 D + L V + 24 L \frac{t}{T}}$$

y llamando C el jornal de un carro, resultará para coste del transporte de un metro cúbico

$$\frac{C (48 D + L V + 24 L \frac{t}{T})}{24 L V};$$

de modo que substituyendo en esta fórmula los valores de V, L y t en cada caso, tendremos, suponiendo la duracion del trabajo 10 horas ó T = 10, lo siguiente;

Coste del transporte de un metro cúbico	{	Carreton	$\frac{C (48 D + 6944)}{154,400} = \frac{C (D + 145,08)}{2,800}$
		Carro con bueyes	$\frac{C (48 D + 14,942,4)}{316,800} = \frac{C (D + 511,5)}{6,600}$
		Id. con dos mulas	$\frac{C (48 D + 20,376)}{452,000} = \frac{C (D + 424,5)}{9,000}$
		Id. con tres mulas	$\frac{C (48 D + 26,376)}{576,000} = \frac{C (D + 519,3)}{12,000}$

En la primera fórmula se halla comprendido el coste de la carga, porque suponemos que la ejecutan los mismos conductores; y en las tres restantes bastará agregar á cada una $\frac{j}{12}$ para obtener el coste de la *carga, descarga y conduccion* de un metro cúbico.

Terraplenes.

Determinados así los precios de los desmontes y trasporte de las tierras removidas, solo falta para completar el presupuesto de una esplanacion, fijar el coste de la estension y arreglo de las tierras trasportadas para la formacion de los terraplenes; y basta para obtenerle, considerar que en los casos ordinarios, puede un solo operario estender y arreglar convenientemente durante un dia de 10 horas de trabajo

50 á 50 metros cúbicos en tierra suelta;

25 á 40 id. tierra dura;

segun las condiciones que exijan los terraplenes. Y si se quiere tener en cuenta en el presupuesto de la esplanacion el pequeño importe del *refinado* tanto en los desmontes como en los terraplenes, calculáremos este coste bajo el supuesto de que un operario tarda en refinar un metro cuadrado de desmonte ó terraplen en tierra 0^h,1, ó 0^h,15 si el refino es en tierra fuerte, grava, etc., segun las esperiencias de algunos Ingenieros.

Refinado.

Para patentizar el modo de determinar los precios del presupuesto, presentáremos un ejemplo suponiendo

Jornal de un hombre 6 rs., y con el gasto de herramientas 6,5 = *j*.

Id. de un carro con dos caballerías 24 rs. = *C*.

Distancia de trasporte 400 m. = *D*.

Siendo la capacidad del carro $V = 0^m,5$ y la longitud que puede recorrer al dia 50.000 metros, como ya hemos indicado, tendrédmos, suponiendo el desmonte en tierra dura

$$1.^{\circ} \text{ Precio del metro cúbico de desmonte } \frac{6,5}{5} = 1,26$$

$$2.^{\circ} \text{ Id. id. comprendiendo la } \left\{ \begin{array}{l} \text{separacion de las tierras} \\ \text{á los lados de la carretera} \end{array} \right\} \frac{j}{d} + \frac{j}{c} = \frac{6,5}{5} + \frac{6,5}{12} = 1,78$$

$$3.^\circ \text{ Id. del transporte de las tierras á 400 m.; } \frac{C(48D+20.576)}{452.000} = 2,19$$

$$4.^\circ \text{ Id. del arreglo de las tierras } \frac{j}{25} = \frac{6,5}{25} = 0,25$$

$$5.^\circ \text{ Precio del metro cúbico de terraplen. } 2,44$$

Del mismo modo determinaremos los precios para todos los casos que en las esplanaciones pueden presentarse, los cuales, en union de las cubicaciones, nos darán los presupuestos generales de las obras de tierra.

Obras de fábrica.

Para el cálculo del coste de las obras de fábrica, es preciso recurrir directamente á los precios que existan ya en cada localidad, ó á los que se deduzcan de otras obras ya ejecutadas en ella; ó bien á descomponer cada clase de fábrica en sus diversos elementos ó materiales y calcular separadamente el coste de cada uno de ellos para deducir, despues de conocido el valor de la mano de obra, el precio de cada unidad de las distintas que pueden entrar á constituir cualquiera construccion.

El primer medio, es decir, el de la comparacion, es sin duda el mas conveniente; pues deducidos de las obras ya ejecutadas en la misma localidad ó en condiciones semejantes los precios medios de las distintas unidades de fábrica, estos serán tipos mas exactos para nuestro cálculo, que si recurrimos para determinar el valor de cada unidad, á la descomposicion ó análisis de los elementos ó materiales que la constituyen; y por último á la comparacion ó esperiencias que nos den el precio de cada elemento, y el de la mano de obra que se emplee.

Esto no obstante, como en muchos casos podrá ser necesario acudir al análisis para fijar los precios de algunas ó todas las unidades, harémos una indicacion del medio que puede emplearse para lograrlo.

En dos partes puede considerarse descompuesto el precio de

la unidad de cada clase de fábrica, que son ; el coste de los materiales al pié de obra, y el valor de la mano de obra para su empleo.

El valor de los materiales al pié de la obra, se compone del de su adquisicion en los puntos de estraccion y del coste del transporte.

Ladrillo.

El adobe, ladrillo, etc., tendrá en cada localidad un precio determinado, ó en otro caso fácil será de deducir por comparacion el coste de confeccion de este material. La estraccion de la piedra para las mamposterías, sillería, etc., la calcularémos de un modo semejante á lo que hemos dicho para las esplanaciones, puesto que la estraccion de estos materiales no es otra cosa que un verdadero desmonte, que generalmente se ejecutará por medio de la pólvora, ó con el pico; recurriendo para valorarla á las esperiencias ya hechas para deducir del trabajo que un operario puede hacer en un dia el precio del coste de saca; debiendo tener en cuenta el gasto de herramientas y el de la pólvora que se emplee en cada caso y en cada unidad.

Piedra.

Como casi siempre se hace uso de la sillería y de la mampostería ordinaria á la vez, al sacar aquella de las canteras, se obtienen tambien los mampuestos, de todos aquellos bloques que por su forma y dimensiones, no pueden servir para la sillería; en cuyo caso, el valor de uno y otro material se reduce algun tanto, puesto que todo el material estraido de la cantera es aprovechado, bien sea para la sillería ó sillarejo, ó bien sea para la mampostería ordinaria que admite bloques ó piedras de todas formas y dimensiones.

Aunque, segun sea la posicion de la carretera, su naturaleza y el estado que se encuentra, puede variar mucho el coste de la saca de este material, podemos suponer como ejemplos

que mas frecuentemente se ocurren en la práctica, el caso en que se haya de sacar la piedra de bancos explotables con palancas y cuñas, y aquel en que sea necesaria la pólvora; suponiendo una roca de mediana dureza.

En el primer caso, un operario podrá en un día de trabajo extraer 1,25 metros cúbicos de piedra, y por consecuencia valorando el coste de la herramienta 0,20 por cada jornal, si suponemos este de 8 rs., tendremos que la saca costará.

$$\frac{8 \times 1,20}{1,25} = \frac{9,60}{1,25} = 7,76 \text{ rs.}$$

En el segundo caso, resultando de las esperiencias hechas que un cantero y un peon pueden al día extraer por medio de la pólvora 2 metros cúbicos de piedra, suponiendo los jornales respectivamente de 10 y 6 rs. tendremos

$$\text{Saca de un metro cúbico} = \frac{(10+6)1,20}{2} + p = 9,6 + p$$

llamando p el valor de la pólvora gastada por metro cúbico que podrá ser de 0,15 á 0,20 kilogramos.

El precio de la madera, hierro y demas materiales los averiguarémos en cada localidad, y de este modo tendremos determinados el coste de adquisicion de todos aquellos que han de entrar en la construccion de las obras que se proyecten; cuyo coste unido al valor del trasporte al pie de obra, que determinaremos fácilmente del modo que ya hemos indicado para las esplanaciones, nos dará el precio de todas las unidades de obra conducidas al punto de empleo.

Las esperiencias hechas, y los resultados de ellas obtenidos, nos enseñan la cantidad de obra que un operario puede hacer diariamente; asi como tambien la proporcion en que entran á formar una buena fábrica, los distintos materiales que la consti-

tuyen. Basados en ellas y conocido el valor de los jornales, fácil será obtener el coste á que resultará la mano de obra; el cual unido al valor ya calculado para los materiales al pie de obra, nos fijará el de cada unidad de las distintas que han de entrar á constituir los presupuestos.

Los datos que se hallan consignados al final del Manual de construcciones de albañilería del Ingeniero D. Pedro Celestino Espinosa; los recopilados en la apreciable obra de D. Nicolas Valdes, *Manual del Ingeniero*; los que aparecen en las tablas tecnológicas con que termina la obra *Practique de l'art de construire par J. Claudel et. L. Laroque*; los presentados en la instruccion para uso de los sobrestantes por el Ingeniero don Antonio Lopez y los que pueden encontrarse en otras muchas obras; pueden servir, en union de las propias observaciones, para deducir el coste de la mano de obra en cada clase de fábrica y en cada circunstancia; por eso nos abstenemos de presentar aquí los espresados datos, concretándonos á presentar uno ó dos ejemplos para desvanecer cualquiera duda que en estos cálculos se presentare.

Determinacion
del coste de la fá-
brica de ladrillo.

Supongamos que queremos determinar el precio del metro cúbico de la fábrica de ladrillo: este precio se compondrá, del valor de los ladrillos que entren en un metro cúbico, del coste de la mezcla necesaria para ejecutar esta mampostería y el de la mano de obra.

Ladrillo.

Teniendo los ladrillos por dimensiones 0,25 . 0,13 y 0,04 y debiendo ejecutarse la fábrica con tendeles que no escedan de 8 milímetros

En un metro cúbico entrarán { 600 ladrillos
0,18 de mortero

Mortero.

La mezcla ó mortero podrá componerse de dos partes de

arena y una de cal, y suponiendo que el metro cúbico de cal valga 180 rs. y el de arena 10 al pie de la obra, y que el aumento que la cal sufre en la estincion es de 1,50 por 1, tendremos que el valor de los materiales que entrarán á constituir un metro cúbico de mezcla será

0,55 de cal apagada.	59,60 rs.
0,66 de arena.	6,60
	46,20

Teniendo los materiales inmediatos, dos operarios podrán amasar al dia *tres* metros cúbicos de mortero, y suponiendo el jornal de estos de 7 rs., el coste de la manipulacion de la mezcla contando con el importe de la herramienta que calculamos en 0,10 por jornal, será por metro cúbico $\frac{14,20}{5} = 4,73$ rs. Por consecuencia el precio de un metro cúbico de mortero será el de 50,93 reales.

Resultará por lo tanto para coste de los que entran en un metro cúbico de fábrica de ladrillo, suponiendo que se desperdician de cada 100 ladrillos 3, lo siguiente;

618 ladrillos á 200 rs. el millar. . .	125,60
0, ^m 18 de mortero á 50,93 rs.	9,17
	132,77

La mano de obra de la fábrica, la calcularemos considerando que un albañil y peon pueden hacer al dia un metro cúbico de fábrica de ladrillo, en muros cuya altura sobre el terreno natural no esceda de 4 ó 5 metros; de modo que siendo el jornal del albañil 12 rs., y el del peon 7, resultará para el coste de la mano de obra de un metro cúbico 19 rs.; y agregando

:

medio jornal de otro peon que se empleará en conducir los materiales de los depósitos en que se hallen etc., resultará para el valor del metro cúbico de la mamposteria de ladrillo lo siguiente:

Materiales.	{ Ladrillos.	125,60 rs.
	{ Mortero.	9,17
Mano de obra.		22,00

Precio del metro cúbico de fábrica de
ladrillo. 154,77 rs.

Si queremos determinar, como segundo ejemplo, el precio del metro cúbico de sillería, tendríamos que descomponerle del modo siguiente:

Coste del metro cúbico de sillería . . .	{ Materiales. . .	{ Sillares. . .	{ Saca.
		{ Mortero. . .	{ Desbaste.
	{ Mano de obra. .	{ Traslacion ó elevacion.	{ Transporte.
			{ Labra.
			{ Asiento.
			{ Recorrido y retundido.

Si las canteras se hallan en la disposicion que indicamos en el 2.º caso de la (pág. 155) el coste de la saca de un metro cúbico de sillería costará $9,6 + p$, siendo p el precio de 0,15 á 0,20 kilogramos de pólvora. De modo que si el kilogramo de pólvora cuesta 10 rs., el importe de la saca de la sillería por metro cúbico será 11,60 rs., á cuya cantidad podremos agregar $\frac{1}{10}$ por las creces ó mayores dimensiones que deben tener las piedras antes del desbaste, resultando por lo tanto $11,60 + 1,16 = 12,76$ rs., para coste del metro cúbico.

Desbaste.

Si los sillares que han de emplearse tienen por dimensiones medias 0,^m80, 0,^m40 y 0,^m40 la superficie de desbaste

de cada uno será la de las seis caras que le forman, y que juntas constituyen una estension de 4,60 metros cuadrados; ó si solamente se desbastan cinco caras, como sucede en los muros cuyo interior es de mamposteria ordinaria, resultaria 4,28 metros cuadrados.

Segun la naturaleza de la piedra y la mayor ó menor regularidad con que la cantera nos suministre los bloques, asi será mayor ó menor el importe del desbaste; pero suponiendo que este desbaste comprenda un espesor de 0,05 á 0,10 un cantero podrá desbastar en un dia y en piedra de mediana dureza dos metros cuadrados, y siendo su jornal de 12 rs., resultará que el valor medio del desbaste de cada sillar, calculando 0,20 el coste de la herramienta por jornal, será 7,81 rs.; y como en un metro cúbico de sillería entrarán al menos 7,2 sillares de estas dimensiones, tendrémolos para coste del desbaste 56,23 rs.

Trasporte.

El transporte le calcularémos como dijimos en la (pág. 151), y suponiendo la distancia 1.500 metros, y que el jornal de un carro es de 24 rs., tendrémolos $D = 1.500$; $l = 24$, y por lo tanto el precio del transporte del metro cúbico costará 5,13 rs.

Labra.

Si consideramos que un cantero puede en un dia ó en 10 horas de trabajo, labrar de fino 0,77 metros cuadrados y de labra ordinaria para lechos y juntas 1,80 tendrémolos, que el coste del metro cuadrado de labra, siendo 12 rs. el jornal del cantero, y 0,2 el gasto de herramienta será respectivamente 15,84 rs. y 6,77 rs. De modo que el valor de la labra de cada sillar de los que hemos considerado, suponiéndoles con un solo paramento, equivaldrá á $5,07 + 6,50 = 11,57$ rs., y por lo tanto la labra del metro cúbico de sillería ascenderá á $11,57 + 7,2 = 85,50$ rs.

Resulta por consiguiente que el precio de los sillares por

metro cúbico, será la suma de los valores parciales que acabamos de determinar; es decir $12,76 + 56,25 + 5,15 + 83,50 = 157,42$ rs.

Mortero.

El valor del mortero, que entra en un metro cúbico de fábrica de sillería, cuyo volúmen será en el caso actual de 0,08 metros cúbicos, le determinaremos como ya hemos dicho, y suponiendo el mismo valor determinado en la (pág. 157) de 46,20 reales para el metro cúbico; así tendremos, que el coste del mortero que entrará en cada metro cúbico de sillería será de 3,69 rs.

Traslacion y elevacion.

Teniendo el coste de los materiales al pie de la construccion el cálculo de la mano de obra se hará del modo siguiente:

Supongamos que el depósito de los sillares se halla á 160 metros del punto de empleo, y que estos por término medio hay que elevarles á 2 metros de altura.

El coste del transporte á esta distancia con un *carro de mano* que puede cargar 0,55 metros cúbicos en cada viaje, será 5 rs. por metro cúbico, suponiendo que en esta operacion se emplean 6 operarios con 7 rs. de jornal y que tardan en la carga ida y vuelta de cada viaje 0,40 horas.

La elevacion á 3 metros de altura media costará por metro cúbico 5,07 rs., considerando que esta pequeña altura, se salve con facilidad por medio de un plano inclinado ó una cábria y empleando en esta maniobra cuatro operarios con 8 rs. de jornal, y 0,27 horas por cada sillar, ó sean 1,44 horas por metro cúbico; y agregando tambien un 10 por 100, para gastos de aparatos y herramientas.

Asiento

El coste del asiento de la sillería varia segun la clase de obra y las dificultades de emplazamiento de cada sillar; pero si nos concretamos á los casos mas frecuentes de sillares de muros, cadenas, etc., dos asentadores con dos peones tardarán

en el asiento de un metro cúbico 4 horas poco mas ó menos, y por consecuencia podrán al dia asentar 2,5 metros cúbicos, y siendo 12 rs. el jornal de los dos primeros y 8 los de los segundos contando con 0,1 de coste de la herramienta etc. por jornal, tendremos para el coste del asiento de un metro cúbico 16,16 rs.

Recorrido y retundido.

Ultimamente, calculando el recorrido y retundido bajo la consideracion de que un cantero puede recorrer y retundir en 1,25 horas un metro cuadrado, si suponemos que la sillería solo tenga por espesor medio el de un sillar, el metro cúbico de sillería tendrá por paramento 2,50 y por consecuencia un cantero podrá al dia recorrer y retundir 5,5 metros cúbicos, y por lo tanto el coste del recorrido y retundido de un metro cúbico de esta sillería será, 3,51 rs. suponiendo 12 el jornal del cantero y 0,30 el coste de la herramienta y el de la pequeña cantidad de mortero necesaria para esta operacion.

Reuniendo pues todas estas cantidades, tendremos: *coste del metro cúbico de sillería = coste de los sillares + coste del mortero + coste de la mano de obra*, ó lo que es lo mismo:

Precio del metro cúbico de la sillería = $157,42 + 3,69 +$
mano de obra. Mano de obra = $5 + 5,07 + 16,16 + 3,50 =$
29,75, y por tanto el precio que buscamos será 190,84 rs., ó agregando un 10 por 100 de gastos imprevistos y erradas maniobras

$$190,84 + 19,08 = 209,92 \text{ rs.}$$

De un modo semejante al seguido en estos dos ejemplos, determinaríamos los precios de las demas unidades de obras; y con este motivo haríamos observar la mucha dificultad que hay en analizar y calcular el coste de los muchos elementos que entran á modificar el precio de una unidad de obra, y la imposibi-

lidad de tener en cuenta todos los detalles y numerosos casos que en la práctica se presentan; por estas causas, la determinación de los precios por medio del análisis de sus elementos, solo debe hacerse cuando la localidad sea tal que no se haya en ella verificado obra alguna que nos dé el coste de cada unidad, ó se hallen las que se proyectan en circunstancias que no exista paridad entre sus condiciones, y las de otras de la misma ó semejante naturaleza.

Firmes.

No hay tanta complicación ni dificultad en los afirmados; pues siendo obras muy sencillas y en que entran un número muy reducido de materiales, fácil es calcular después de proyectada su forma y dimensiones, el coste de los materiales que entran en su composición y su empleo.

Concretándonos á los firmes de piedra machacada, que serán los que ordinariamente se emplean en las carreteras, y determinando su volumen por metro lineal, conforme á lo que dimos en la página 158, tendremos que calcular el coste de la piedra machacada, el del recebo, y la mano de obra de ejecución del afirmado por cada metro lineal.

Piedra
machacada.

El coste de la piedra machacada se descompone en el valor de la adquisición de la piedra ó su saca y transporte al pie de la obra, y el valor de su machaqueo; que será distinto según las dimensiones con que se exija.

Saca ó recogido
y conducción.

El valor de la saca y conducción de la piedra al pie de la obra, la determinaremos del mismo modo que hemos dicho para los desmontes en roca; ó bien si esta piedra se halla esparcida por los campos, como suele acontecer, averiguando el coste del recogido; el cual dependerá de su mayor ó menor abundancia. Por término medio puede calcularse que un operario puede recoger al día 1,25 metros cúbicos; de modo que

el metro cúbico resultará á 4 rs. considerando que es 6 rs. el jornal de un peon; y si á esta cantidad agregamos el valor del transporte, obtendremos el coste del metro cúbico de piedra al pié de la obra.

Fijadas las dimensiones del machaqueo, y que estas sean por ejemplo, 0,53 y 0,05 para el tamaño de las piedras que han de constituir cada capa, es evidente que segun sea su mayor ó menor dureza y testura, y sea ó no piedra de cantera ó canto rodado, el machaqueo costará mas ó menos.

De las observaciones que hemos hecho en las obras que hemos tenido á nuestro cargo, resulta que un hombre trabajando 10 horas al dia podrá machacar

	MACHAQUEO DE		
	0,03 mets. cbs.	0,05 mets. cbs.	0,06 mets. cbs.
Piedra caliza de mediana dureza. .	0,60	0,70	1
Piedra caliza-silíceas.	0,50	0,65	0,90
Piedra caliza-silíceas muy dura. . .	0,40	0,55	0,80
Cantos rodados calizo-silíceos. . . .	0,40	0,64	0,85

Suponiendo que las piedras solo tengan antes del machaqueo dimensiones que no escedan de 18 centímetros de arista media; pues cuando sean mayores será preciso previamente almadenarlas, para reducir algun tanto sus dimensiones; lo cual producirá algun pequeño aumento en el coste de la mano de obra.

En los números que acabamos de consignar solo fijamos los términos medios; pues como bien se comprende, el trabajo que hará un peon, dependerá del hábito que tenga en hacer

esta operacion, de la herramienta que emplee y del modo de ejecutar la obra.

Tambien debemos tener en cuenta al hacer el cálculo del volúmen del firme por metro lineal, que el machaqueo de la piedra produce en su volúmen una *merma* de 0,05 á 0,15, por causa del detritus que se desperdicia; y que los firmes de piedra machacada experimentan un asiento desde su ejecucion hasta que se afirman completamente de 0,20 á 0,25 de su volúmen; debido á los huecos que quedan entre piedra y piedra, que van disminuyendo á medida que engranan unas con otras.

Si habidas en cuenta estas consideraciones, calculamos el volúmen de piedra que haya de machacarse, y hallamos que, por ejemplo, sea 0,90 metros cúbicos para primera capa, 0,65 para la segunda, y 0,50 para el recebo por metro lineal, podremos desde luego calcular el valor de la piedra machacada, con solo atender á los datos apuntados y determinando previamente, el coste de la saca y transporte de la piedra y del recebo, cuyos valores podemos suponer que sean respectivamente de 10 y 5 rs. el metro cúbico.

En estos supuestos y en el de que el valor de los jornales sea de 6,60 rs., incluyendo el coste de herramientas resultará

0,96 metros cúbicos de piedra machacada	
de 0,06 para 1.ª capa.	9,60 + 7,04 = 16,64 rs.
0,65 metros cúbicos de id. id.	
de 0,05 para 2.ª capa.	6,50 + 8,58 = 15,08
0,50 metros cúbicos de recebo.	4,50
Coste de los materiales por metro lineal. . .	<u>35,22</u>

Arreglo de piedra
en caja y esten-
sion de recebo.

El valor de la colocacion ó estension de estos materiales sobre la caja abierta en la esplanacion para formar el firme, pue-

de determinarse con facilidad, segun los siguientes datos deducidos de nuestras propias observaciones.

1.º Que un hombre al dia podrá arreglar de 100 á 120 metros lineales de 1.ª capa, si la piedra se ha machacado sobre la misma caja ó se halla ya colocada ó distribuida sobre ella convenientemente.

2.º Que un hombre podrá estender y arreglar sobre la caja, de 40 á 50 metros lineales de 1.ª capa, cuya piedra sea conducida con carros á los puntos que se vayan designando.

3.º Que si la piedra se halla apilada en los paseos, como suele suceder, para la 2.ª capa, tres peones de los cuales dos se ocupen en el transporte, y el otro en el arreglo y estension podrán hacer al dia de 30 á 40 metros lineales.

4.ª Que tres operarios en la misma circunstancia anterior, podrán estender al dia de 60 á 70 metros lineales de recebo; ó uno solo 70 á 90 metros de longitud, si el recebo se conduce en carros á los puntos y distancias convenientes.

Todos estos datos se dan en el supuesto de que la anchura de los firmes se halla comprendida entre 4 y 7 metros, y sus espesores entre 0,15 y 0,35.

Sentado esto, no existirá dificultad alguna en determinar el coste de la mano de obra de estension y arreglo de todas las capas y recebo por metro lineal; y por consecuencia obtendremos el coste del metro lineal del afirmado que es el precio que necesitamos para el presupuesto.

Cilindrado.

Para completar estas consideraciones, debemos tambien hacer una indicacion acerca del modo de determinar el precio del cilindrado.

Lo primero que debe apreciarse en el presupuesto de esta operacion, es el coste de adquisicion del cilindro y el deterioro

:

que sufrirá durante el tiempo de su empleo, para tener en cuenta los réditos del capital desembolsado y el demérito que sufra, que será la diferencia entre su primitivo valor y el de su tasacion al terminar la obra; este último, determinable previamente por comparacion. De modo que el coste verdadero del cilindro para ejecutar un firme, cualquiera que sea su longitud, estará representado por $R + (p - p')$, llamando R los réditos y $p - p'$ el deterioro, y por lo tanto $\frac{R + (p - p')}{L}$ representará el coste del cilindro por metro lineal, llamando L la longitud de firme sometida á esta operacion.

La compresion del firme por medio del cilindro, puede hacerse sobre cada capa ó solamente sobre el recebo; mas en uno y otro caso para determinar su valor, es indispensable fijar la fuerza que se necesita para arrastrarle, la velocidad, el número de jornales de los peones que acompañen á esta operacion, el número de veces que por cada punto deberá pasar y la anchura de la carretera.

La fuerza que se necesita dependerá evidentemente del peso del cilindro, y como regularmente este aumentará desde el principio al fin de la operacion, el número de bueyes ó caballerías de tiro empleados en la traccion, aumentará tambien.

Peso del cilindro.

Por lo general el peso del cilindro variará entre 2.000 y 7.000 kilogramos, y para moverle serán necesarias de dos á cinco yuntas de bueyes, ó tres á seis pares de mulas, teniendo siempre en cuenta en esta operacion, que es necesario procurar un esceso de fuerza para evitar que el ganado destruya en parte el efecto del cilindro, cuando hace grandes esfuerzos para ponerle en movimiento.

Velocidad.

En la traccion del cilindro, el ganado marcha al paso, y puede suponerse como término medio que al dia podrá recorrerse

una longitud de 28 kilómetros , empleando mulas ó caballos , y 20 kilómetros si la traccion se hace con bueyes; esto en el supuesto de que las pendientes no lleguen al 5 por 100.

Zonas.

Como la longitud del cilindro se hallará comprendida entre uno y uno y medio metros , y el ancho de los firmes en nuestras carreteras varía hoy entre 5,50 y 6 metros ; el número de zonas en que quedarán divididos los firmes para esta operacion , será de 4 á 6 , y por lo mismo en un solo dia , el cilindro tan solo podrá recorrer de 5 á 7 kilómetros , pasando una sola vez por cada punto del firme.

Núm. de pases.

El número de veces que será menester pasar el cilindro aumentando convenientemente la carga , varía con la calidad del material y las circunstancias atmosféricas en que se ejecuta esta operacion ; pero podemos suponer que por lo general se hallará comprendido entre 30 y 40 veces por cada punto , sin que por esto queramos decir que no existan circunstancias en que será preciso escederse de este número.

Con estas consideraciones , con los conocimientos que se suponen adquiridos en la construccion de afirmados , y teniendo en cuenta que á esta operacion deben concurrir dos ó tres peones además de los conductores del ganado , tenemos lo suficiente para determinar el coste del metro lineal del cilindrado , como vamos á ver presentando un ejemplo.

Supongamos una carretera de segundo orden cuyo firme tiene 4,50 metros de anchura , que la estension que hay que ejecutar en el plazo de *un año* es de 16 kilómetros , y que un cilindro de fundicion de 1,50 de longitud , cuesta 12.000 rs.

Fijemos además como datos conocidos , que la traccion se hace con bueyes , y que cada yunta cuesta 16 rs. diarios , que el jornal de los peones es de 6 rs. y que el firme constando de

dos capas, se exige se pase el cilindro 12 veces por la primera, 12 por la segunda y 10 sobre el recebo.

En primer lugar tendrmos, suponiendo el demérito del cilindro durante un año 5.000 reales.

6 por 100 anual de 12.000 rs. en un año.	720
(1) Demérito.. . . .	5.000
Coste del cilindro.	<u>5.720</u>

Resulta que siendo la longitud total de la línea que hay que cilindrar de 16.000 metros, el cilindro costará por metro lineal 0,25 rs. Además, suponiendo que de las 54 veces que el cilindro ha de pasar por cada punto, 6 veces lo verifica de vacío, 10 con $\frac{1}{3}$ de carga, otras 10 con los $\frac{2}{3}$, y 8 veces con la carga completa; y considerando que en el caso supuesto, solo podrá pasarse el cilindro una vez por día por una estension de carretera representada por $\frac{20\ 000}{4} = 5.000$ metros, siendo 4 el número de zonas en que dividimos el firme y 20 kilómetros la distancia que puede recorrerse con bueyes diariamente, tendrmos:

(1) Este demérito, que siempre es una cantidad relativamente reducida, puede apreciarse previamente por comparacion si el cilindro es de fundicion, ó si fuera de piedra, considerando que el valor final del cilindro es casi nulo.

COSTE DEL CILINDRADO EN LA ESTENSION DE 5.000 METROS DE
CARRETERA.

CARGA.	Número de yuntas necesarias.	Número de veces que el cilindro debe pasar.	Número de días invertidos	Número diario de peones auxiliares	Importe de las yuntas. — Rs. vn.	Importe de los peones. — Rs. vn.	IMPORTE total. — Rs. vn.
Vacío.	2	6	6	5	192	108	500
0,55	5	10	10	5	480	180	660
0,66	5	10	10	5	800	180	980
Completa.	6	8	8	5	768	144	912
		54	54	»	2.240	612	2.852

Resulta que el cilindrado completo de 5.000 metros cuesta 2.852 rs. ó sean 0,57 rs. por metro lineal á cuya cantidad agregando 0,25 rs. que hemos deducido como valor del cilindro, y 0,02 por importe de la recomposicion diaria, resultará para precio del metro lineal de cilindrado $0,57+0,25+0,02=0,82$ reales.

Es evidente que cuanto mayor sea la anchura de la carretera, tanto mayor será el valor del cilindrado, así como tambien aumentará notablemente, si las pendientes de las rasantes de la carretera son de consideracion y si se exige ó es indispensable regar el firme para que el cilindro compresor produzca su efecto.

Para considerar estos y otros muchos casos que pueden presentarse, y apreciarles tambien debidamente, seria menester entrar en largas consideraciones, que son ajenas de nues-

tro objeto; bastando por otra parte lo dicho para descubrir el modo de determinar en cada circunstancia el presupuesto del cilindrado.

Espuestas las precedentes consideraciones y datos presentados, conocemos lo suficiente para determinar los precios medios de las distintas unidades de obras que pueden entrar á constituir cualquier presupuesto; y como préviamente tenemos determinada la cubicacion ó medicion de las obras, queda completamente determinado el presupuesto general de cualquiera carretera; debiendo tan solo añadir, que cuando no haya seguridad completa en el coste de la obra, debe aumentarse alguna cantidad para gastos imprevistos; y que cuando la obra se ejecute por contrata, debe introducirse en los precios medios ó bien en el resúmen del presupuesto, alguna cantidad para *gastos de administracion*, beneficio industrial, etc. Esto último ha sido dispuesto por la Real órden de 12 de Mayo de 1860.

CAPITULO SESTO.

CONDICIONES.

A todo proyecto debe acompañar, además de la memoria descriptiva en la que se designan sus condiciones generales y los fundamentos de la eleccion del trazado, los detalles que patenticen las circunstancias á que deben satisfacer todas y cada una de las obras que se proyecten; así como tambien, para las obras que se ejecutan por contrata, las condiciones que detallen el carácter y obligaciones del contrato, y las que fijen el modo y forma de hacer los pagos, y las garantías para asegurarse de la buena ejecucion ó del buen cumplimiento de las obligaciones del contratista.

De aquí pueden considerarse tres clases distintas de condiciones; *generales, facultativas y económicas.*

Condiciones generales.

Las condiciones generales, son aquellas que determinan las bases principales del contrato; que garantizan á la Administracion de la aptitud y buena fe del contratista; que aprecian las circunstancias especiales que pueden modificarle, y que fijan las cláusulas recíprocas y obligatorias para conseguir su exacto cumplimiento.

Estas condiciones que abrazan de un modo general el contrato, son independientes de la clase é importancia de las obras, y deben ser por lo tanto las mismas para todas las contratas referentes á las obras de pública utilidad.

Deben hallarse redactadas con claridad, y al fijar las obligaciones, debe procurarse la reciprocidad, evitando interpretaciones que den lugar á exigencias ó abusos por parte del contratista que ejecute las obras, ó del Ingeniero encargado de su direccion ó inspeccion.

En este pliego de condiciones, puede decirse que está basado el buen cumplimiento de los contratos; y en él debe quedar plenamente definida la responsabilidad material del contratista, comprender los medios ó reglas que la Administracion puede emplear contra su mala fe y morosidad, así como en los casos en que por errores, omisiones, casos fortuitos é imprevistos, haya necesidad de introducir en el contrato alguna modificacion ó no deba exigirse al contratista toda la responsabilidad que para los casos ordinarios establecen; y en fin, deben fijarse en ellas, reglas para evitar ó resolver las cuestiones ó reclamaciones que pueden suscitar la construccion de las obras á que se aplican.

Estas condiciones generales, por su carácter se redactan por la Administracion y se aplican en general á todos los contratos de igual naturaleza.

Las que hoy se observan aprobadas por Real orden de 10 de Julio de 1861, han modificado ventajosamente las de 22 de Abril de 1846, que sirvieron de tipo para formarlas, y que fueron las que regularizaron los contratos del servicio de las obras públicas.

Las modificaciones introducidas en el primitivo pliego de

condiciones, lo han sido basadas en la práctica adquirida y en los numerosos casos que se han presentado de cuestiones y reclamaciones, algunas justas y muchas injustas, suscitadas por los contratistas, cuyos fundamentos eran, en la mayor parte de los casos, omisiones del citado pliego de condiciones generales, y cuyos resultados son siempre perjuicios para la Administración.

FACULTATIVAS.

Las condiciones facultativas son las descriptivas de las obras que hayan de ejecutarse en ellas, debe el Ingeniero procurar la claridad, no dejando nada dudoso é indeterminado, y disminuyendo cuanto sea posible los casos en que deba dejarse algún detalle á su apreciación, porque la circunstancia de ser en estos contratos representante ó delegado de una de las partes, y director ó inspector de las obras, puede hacerle aparecer caprichoso ó parcial en su misión.

En estas condiciones y en lo que se refiere á la construcción de las carreteras, deben fijarse detalladamente las dimensiones de la esplanación, el modo de ejecutar los desmontes y terraplenes, la inclinación de sus taludes y las garantías necesarias para asegurarse de su buena ejecución; exigiendo la responsabilidad del contratista por un plazo determinado, después de terminada la obra.

En las obras de fábrica debe señalarse la calidad de todos y cada uno de los materiales que han de entrar en su construcción, las pruebas á que han de someterse para apreciar sus buenas condiciones, los puntos de estracción, las condiciones de empleo y los detalles de las operaciones mas principales para

:

la ejecucion de toda fábrica, espresando claramente los requisitos que cada una debe reunir para que se califique de bien ejecutada, indicando en algunos casos hasta la herramienta que debe emplearse.

Se detallarán tambien, no solo el modo de construir cada una de las distintas partes de una obra, sino tambien sus dimensiones principales y el orden en que deban ejecutarse; en fin la descripcion de todas las maniobras y operaciones que deban hacerse para ejecutar las obras con sujecion á los buenos principios de construccion.

Lo mismo decimos respecto de los firmes: en ellas se fijarán sus dimensiones generales y forma, así como la de cada una de las capas: se marcarán los puntos de estraccion del material, sus condiciones, las dimensiones del machaqueo de cada capa, el modo como deba hacerse, las condiciones de su empleo, la calidad y puntos de estraccion del recebo y los detalles concernientes al cilindrado; agregando además las condiciones de precaucion, con que debe el Ingeniero asegurarse de que toda la obra se ejecuta con estricta sujecion á las condiciones establecidas.

La redaccion de estas condiciones se sujeta comunmente á un formulario adoptado de antemano, lo mismo que todo el proyecto de una carretera; y para poderse formar una idea mas cabal de estas condiciones, basta consultar cualquiera proyecto formado, ó pasar la vista por el modelo fijado en el *formulario* para los *proyectos de carreteras* aprobado por Real orden de 1.º de marzo de 1859, en cuyo modelo, habiéndose incluido algunas condiciones con el objeto de subsanar los defectos del primitivo pliego de las generales, fué modificado posteriormente con la publicacion del nuevo, suprimiendo todas aquellas

cláusulas que realmente no correspondían á las facultativas, y que por lo tanto se incluyeron entre las generales para todas las contratas.

CONDICIONES ECONÓMICAS.

Las condiciones económicas son referentes al modo, forma y épocas ó plazos en que se hará el pago de las obras que se construyan.

En estas condiciones, se señala la garantía material ó fianza con que el contratista debe responder del cumplimiento de su contrato; esta garantía puede variar con la importancia y naturaleza de la obra que se contrate, y por lo general se halla comprendida entre el 5 y el 10 por 100 del importe total de la contrata.

Se espresan tambien en estas condiciones las formalidades y documentos que son necesarios para el abono de las obras, la caja ó tesorería que debe hacer los pagos, la cantidad que en cada plazo se entregará al contratista á cuenta de las obras que vaya ejecutando, y el número de estos plazos en que se satisfarán las obras hasta el completo abono de todas ellas, indicando su duracion, ó lo que es lo mismo, el tiempo que se señala para la terminacion del contrato; y en fin, cuantos detalles son necesarios para garantizar al contratista el pago puntual de las obras que ejecute, y presentarle con claridad las bases económicas del negocio que emprende.

CONCLUSION.

A FIN de no omitir aclaracion alguna respecto á las condiciones que se exigen en los proyectos de carreteras y modo de redactarlos, vamos á presentar un índice ó explicacion lacónica del formulario vigente, espresando el medio de satisfacer á todos los datos que en él se exigen.

Consta de cuatro documentos, que son: 1.º Memoria descriptiva. 2.º Planos. 3.º Condiciones. 4.º Presupuestos.

Documento núm. 1.º

PRIMERA PARTE.

Consideraciones
relativas al pro-
yecto en general.

En la memoria descriptiva se exige primeramente la *descripcion del terreno*, para la que nos suministrarán datos, las consideraciones hechas en la 2.ª parte de estos apuntes. La *longitud de la via* resultará en los planos y en las libretas de nivelacion y de distancias. Las *dimensiones generales* estarán fijas como hemos dicho en la página 114, y conforme al orden á que pertenezca la carretera. La *division en trozos* estará basa-

da en los diversos cambios que sufran las condiciones generales del trazado, ya respecto á los precios de las obras, ya á su naturaleza y en el coste de ellas, para que los presupuestos de cada trozo tengan un valor conveniente para facilitar las contratas.

En el sistema y *orden de ejecucion* serán preferidos en la mayor parte de los casos las contratas, si las obras reúnen circunstancias ordinarias, y puede convenientemente inspeccionarse su ejecucion,

SEGUNDA PARTE.

Descripcion detallada del proyecto por trozos.

La *descripcion del terreno* se hará valiéndose de las consideraciones espuestas en el capítulo 1.º de la 2.ª parte.

La esplicacion de los pasos difíciles y obras de fábrica de importancia se obtendrá conforme á lo dicho en las páginas 54, 55, 67 y cap. 2.º de la 3.ª parte.

Las consideraciones referentes á la *relacion de los materiales* que han de emplearse en las obras etc. etc., las hallaremos en el capítulo 5.º de la 3.ª parte, *valoracion*.

Los estados de alineaciones y rasantes, se deducirán inmediatamente de los planos y perfiles.

Documento núm. 2.

Planos.

Los planos se formarán como se ha dicho en el capítulo 1.º de la tercera parte, y su forma y datos que deben comprender, se esplican y dibujan con la suficiente minuciosidad en el formulario, todos los cuales se deducen del modo que hemos indicado.

Si el proyecto exigiera un puente ó una obra muy importante, ó en condiciones especiales se proyectará por separado.

Los modelos de tagueas y alcantarillas publicados por la Di-

reccion general de Obras públicas, evitarán en la mayor parte de los casos la presentacion de dibujos para estas obras.

Documento núm. 3.

Condiciones.

Las condiciones se redactan no estrictamente como las del formulario, sino con sujecion al modelo aprobado por la circular de la Direccion general de Obras públicas de 16 de agosto de 1861, y conforme á lo que hemos dicho en el cap. 6.º de la 3.ª parte.

Documento núm. 4.

CAPÍTULO I.

Cubicacion de la obra.

La cubicacion de las obras de tierra se hace como hemos dicho en el capítulo 5.º de la 3.ª parte, y se consignarán los datos y resultados, en estados arreglados al modelo del formulario.

La clasificacion de los terrenos puede hacerse como indicamos en la página 156, apreciando ó calculando la proporcion en que entran las diferentes clases de rocas que hay que remover, en lo cual no es demasiado importante una rigurosa exactitud; puesto que los abonos de las obras han de hacerse despues de ejecutadas, y por los datos y perfiles tomados durante su ejecucion. No obstante, con arreglo á lo dispuesto en la circular de la Direccion general de 16 de agosto de 1861 debe especificarse la naturaleza y modo de presentarse las rocas.

Para redactar el estado de distribucion, se tendrá presente lo dicho en las páginas 90 y 94.

Las distancias medias de los trasportes se deducirán como se ha explicado en las páginas 141, 142 y 143.

La cubicacion de las obras de fábrica se presentará en un estado formado con arreglo al modelo del formulario y del modo manifestado en la página 157.

En este estado de cubicacion se comprenderá: 1.º Las de los cimientos de cada modelo que se haya elegido de los de la coleccion oficial, puesto que en dicha coleccion se halla ya determinada la cubicacion de cada obra. Estos cimientos comprenderán la escavacion y la fábrica, y deberá calcularse, no el volúmen total de ellos sino el correspondiente á un metro lineal por una parte, y á los frentes comprendiendo tambien un metro de longitud por otra; siguiendo asi la forma dada á la cubicacion de los modelos oficiales. 2.º La cubicacion detallada de cada una de las partes de los proyectos especiales de tajeas y alcantarillas que se presenten; y últimamente, la cubicacion de todos los demas proyectos de obras de fábrica.

La cubicacion de los muros de sostenimiento se presentará arreglada á lo dispuesto en la circular de la Direccion general de Obras públicas de 16 de agosto de 1861 y al estado que la acompaña.

La cubicacion del firme se hará tambien en la forma ordenada en esta circular.

CAPITULO II.
Precios elementales y compuestos.
El cuadro de precios de jornales se redacta en vista de las noticias adquiridas en las localidades.

Los precios de trasporte se calcularán conforme á lo dicho en la página 151. En *los de trasporte á un kilómetro* no debe incluirse el valor de la carga y descarga, ni el del tiempo perdido en ella para el trasporte, puesto que este valor es independiente de la longitud recorrida, y el precio del trasporte debe obtenerse por unidad de distancia; todo conforme á lo que ordena la circular ya citada de la Direccion general de 16

de agosto de 1861. En la casilla de observaciones de este estado debe hacerse la consiguiente aclaracion de esto mismo.

Cuadro de precios de unidades de obra. En este cuadro se consigna separadamente el precio del transporte del material principal y el del resto de la obra.

El material principal será en las distintas fábricas *la piedra*, el *ladrillo*, la *piedra machacada*, la *madera*, etc., cuyo transporte se calculará con arreglo á la distancia media á su punto de estraccion y al cuadro de precios de transporte. En el precio asignado al resto de la obra se comprenderá el de todos los materiales, el de la mano de obra, y el de la carga, descarga, tiempo perdido en ella y gastos de herramientas, cuya circunstancia se anotará en la casilla de observaciones, en la que podrá espresarse la cantidad en que se haya calculado el valor de estos últimos elementos.

Si la distancia de transporte de los materiales fuera muy diferente para las obras de un mismo trozo, podrian consignarse dos ó mas precios para una misma unidad, especificando su procedencia.

Para la fijacion de los precios, servirán los cuadros publicados por la Direccion general, los antecedentes de otras obras y lo dicho en las páginas 145, 155 y siguientes.

Para llenar todas las exigencias de las contratas, evitar algunas reclamaciones y facilitar la resolucion de todas las cuestiones que se suscitan, debiera preceder al cuadro de precios de las unidades de obras, otro descomponiendo estos precios en sus distintos y principales elementos. Por ejemplo el de la sillería, consignando separadamente los valores de la saca, desbaste, labra y asiento; el de la fábrica de ladrillo; el coste de este, el del mortero y el de la mano de obra etc. etc.; de este modo

:

se evitarán muchas de las cuestiones y espedientes que se promueven en la ejecucion de las obras.

CAPÍTULO III.
Presupuestos par-
ciales.

Los presupuestos parciales de las obras de fábrica se obtendrán aplicando los precios de las unidades de obra á la cubica-
cion de ellas.

Los de las tajeas y alcantarillas proyectadas conforme á los modelos de la coleccion oficial, se deducirán agregando á la cubicacion respectiva, la de sus cimientos consignada en el cuadro de cubicacion como ya hemos dicho, y aplicando á ella los precios correspondientes. Asi obtendremos para cada modelo el valor de sus frentes y el del metro lineal de cañon, cuyo coste variará para cada trozo, y deberá por lo tanto deducirse para todos ellos, pudiéndose por lo tanto formar estados en que se consignent las diferentes partes de la cubicacion en la forma siguiente :

TAJEA MODELO N.º

CUBICACION.	TROZO 1.º		TROZO 2.º			
	Precio de la unidad.	Rs. vn.	Precio de la unidad.	Rs. vn.		

De este modo se determinará el coste de los frentes y del metro lineal de cañon para todos los modelos y por consecuencia, deducirémos los presupuestos de estas obras consignándolos del modo siguiente :

Dos frentes.	Tanto	} Tanto.
Tantos metros lineales de cañon á tanto. .	Tanto	

Los presupuestos de las tajeas y alcantarillas que tengan proyectos especiales, se deducirán aplicando los precios á las diferentes partidas de su cubicacion; y del mismo modo obtendremos los presupuestos de los pontones y puentes, cuyas cubicaciones estarán consignadas en el cuadro respectivo.

El cálculo del coste del metro lineal de firme se hará en la forma que el formulario indica, si los precios elementales no variasen en un mismo trozo. Pero en la mayor parte de los casos los diferentes puntos de estraccion del material podrán hacer variar el valor del metro lineal, y por lo mismo debe suprimirse el detalle de su coste sujetándose á lo mandado en la circular de la Direccion general de Obras públicas de 16 de agosto de 1861 á la que nos referimos para mayores detalles.

CAPITULO IV.

Presupuesto general.

Con estos antecedentes ninguna dificultad presenta la redaccion del presupuesto general, ni de su resúmen; y por lo tanto concluirémos manifestando que cuando la carretera haya de ejecutarse por contrata, el proyecto termina con lo que se denomina *Presupuesto de contrata* formado con arreglo á la Real órden de 12 de mayo de 1860, y en la forma siguiente:

PRESUPUESTO DE CONTRATA.

	Rs. vn.
Ejecucion material de las obras.	
Gastos imprevistos, 1 por 100.	{
Gastos de direccion y administracion, 5 por 100.	
Beneficio industrial, 9 por 100.	
Presupuesto de contrata.	

Es decir, que para ejecutar por contrata las obras de can-
teras se aumenta al presupuesto verdadero de ellas el 15 por
100 de su importe en atencion á los conceptos espresados.

FIN.

MEMORIO DE LA COMISIÓN

La Comisión encargada de la obra, en virtud de lo dispuesto en el artículo 1.º del Reglamento de 1884, ha tenido el honor de presentar al Sr. Ministro de Fomento, en el mes de Mayo de 1887, el presente informe, en el que se expone el resultado de los trabajos que ha realizado durante el tiempo que le ha sido concedido para su desempeño.

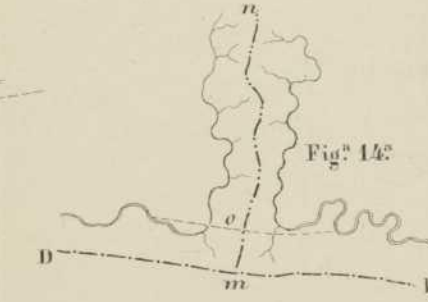
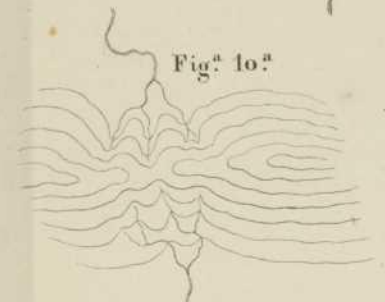
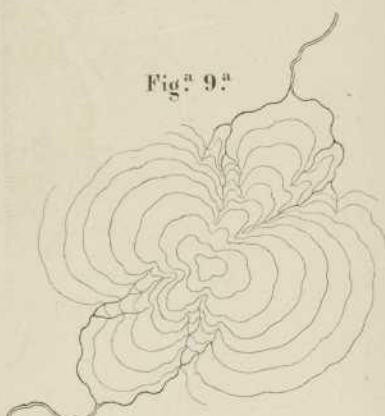
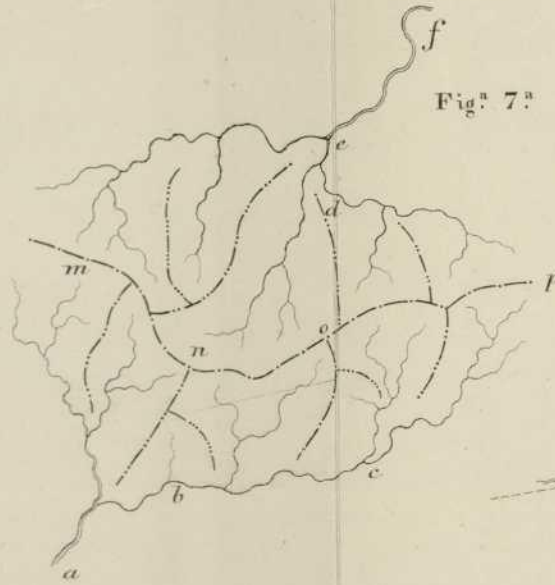
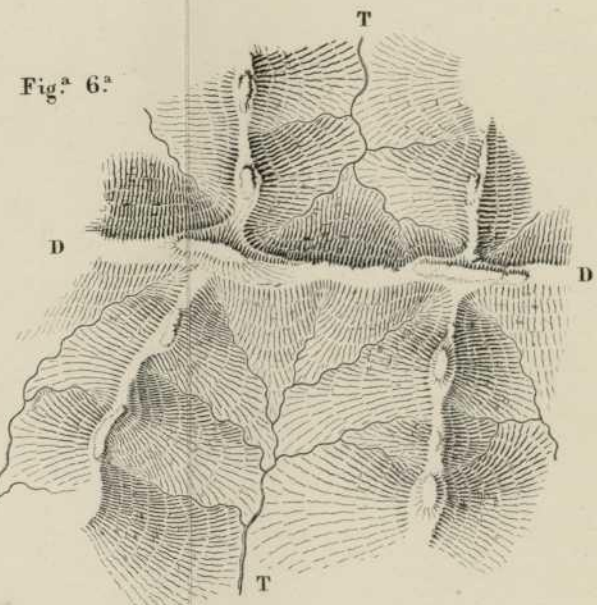
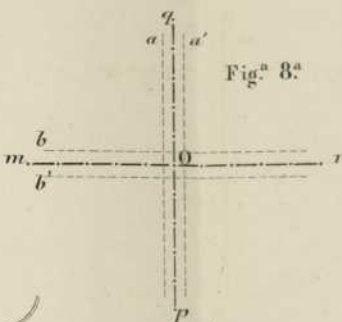
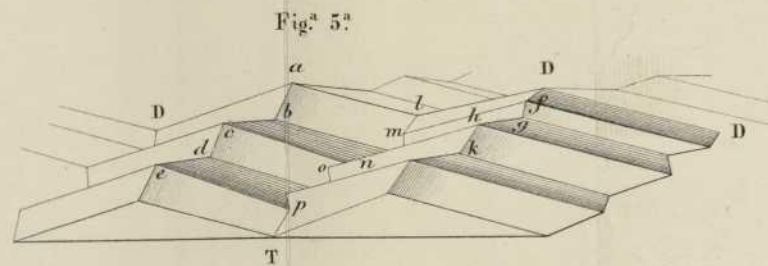
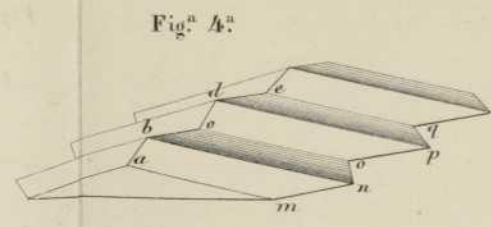
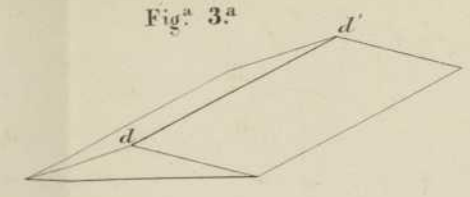
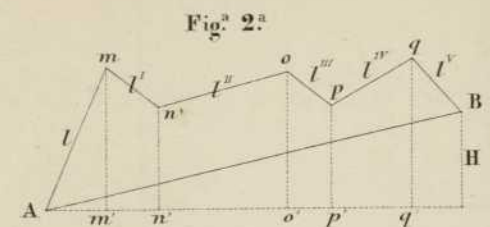
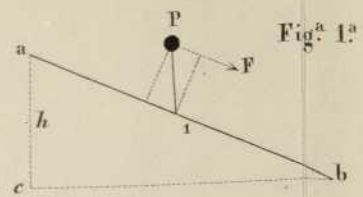
El Sr. Ministro, en su contestación, ha expresado su satisfacción por el celo y actividad que ha desplegado la Comisión, y ha autorizado a la misma para que continúe en sus trabajos, con el fin de poder presentar al Sr. Ministro, en el mes de Mayo de 1888, el informe definitivo.

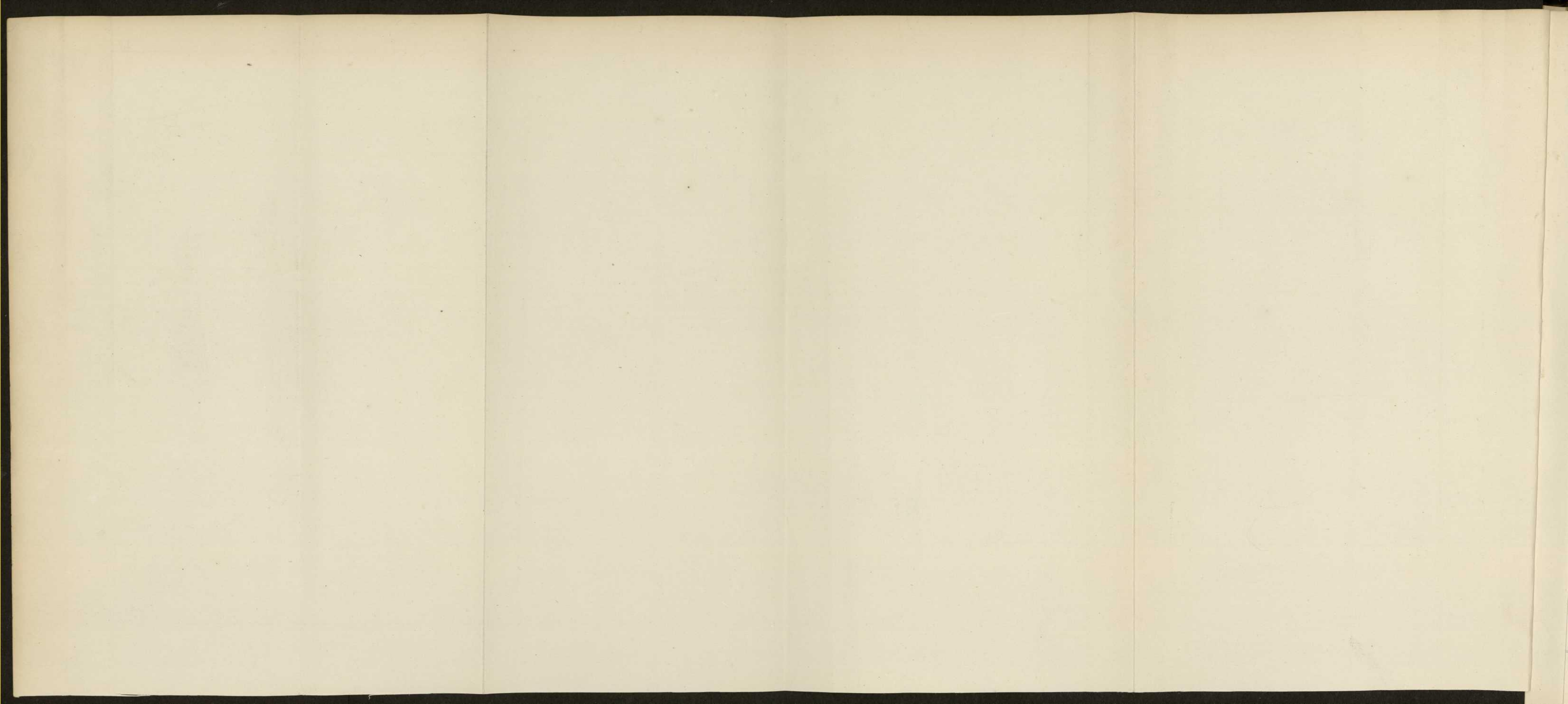
THE UNIVERSITY OF CHICAGO

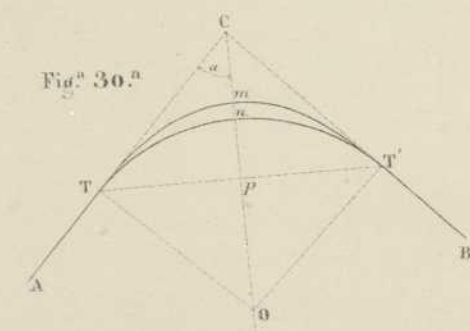
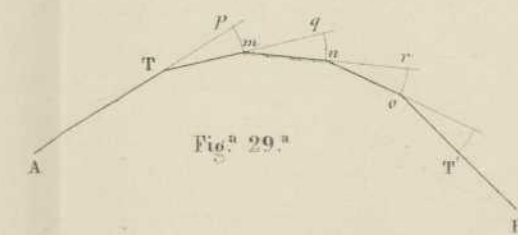
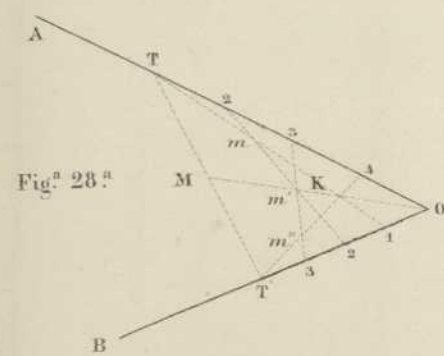
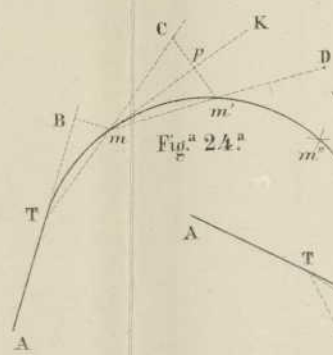
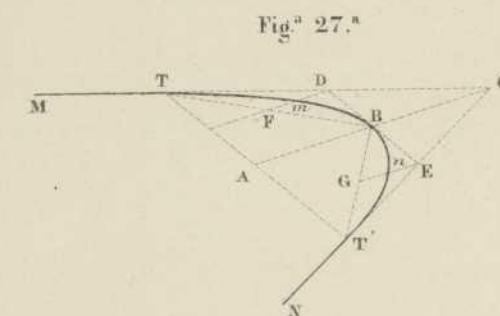
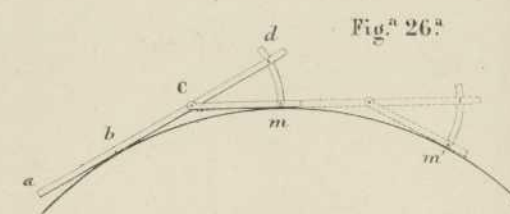
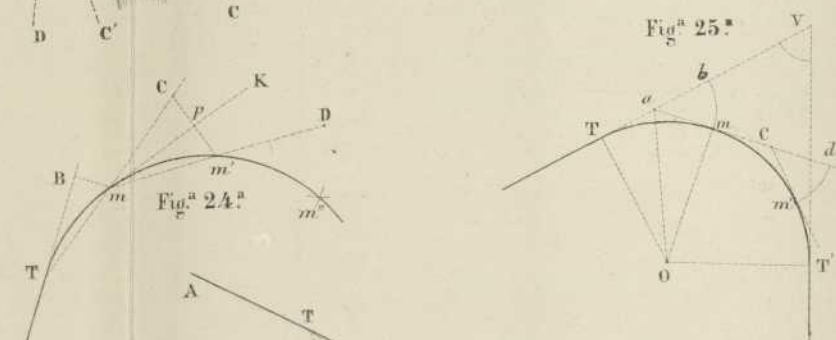
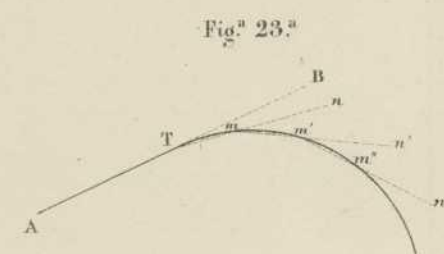
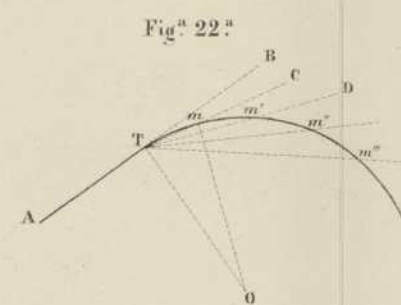
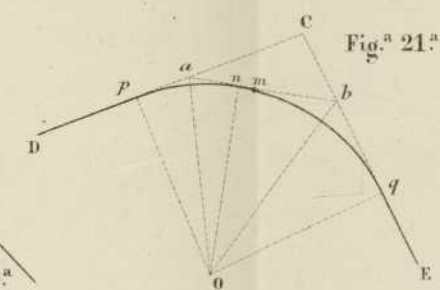
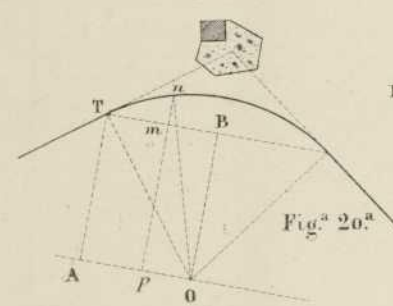
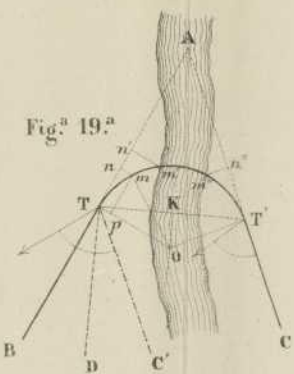
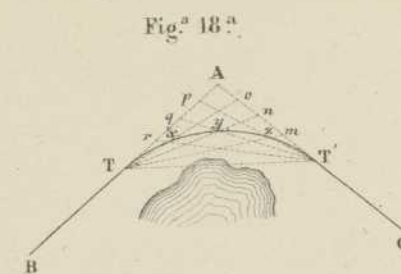
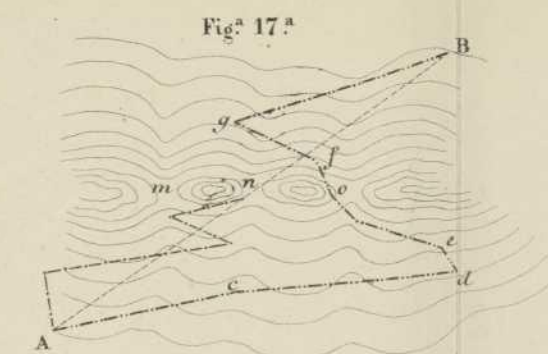
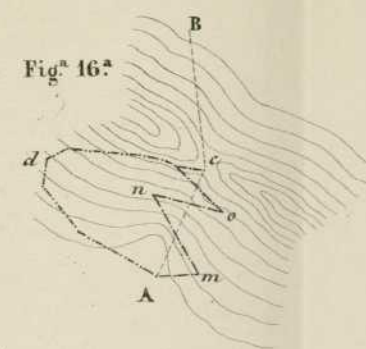
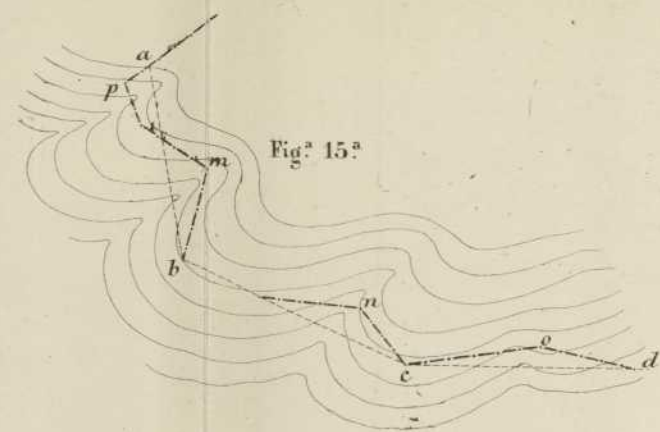
THE UNIVERSITY OF CHICAGO
THE UNIVERSITY OF CHICAGO
THE UNIVERSITY OF CHICAGO
THE UNIVERSITY OF CHICAGO
THE UNIVERSITY OF CHICAGO

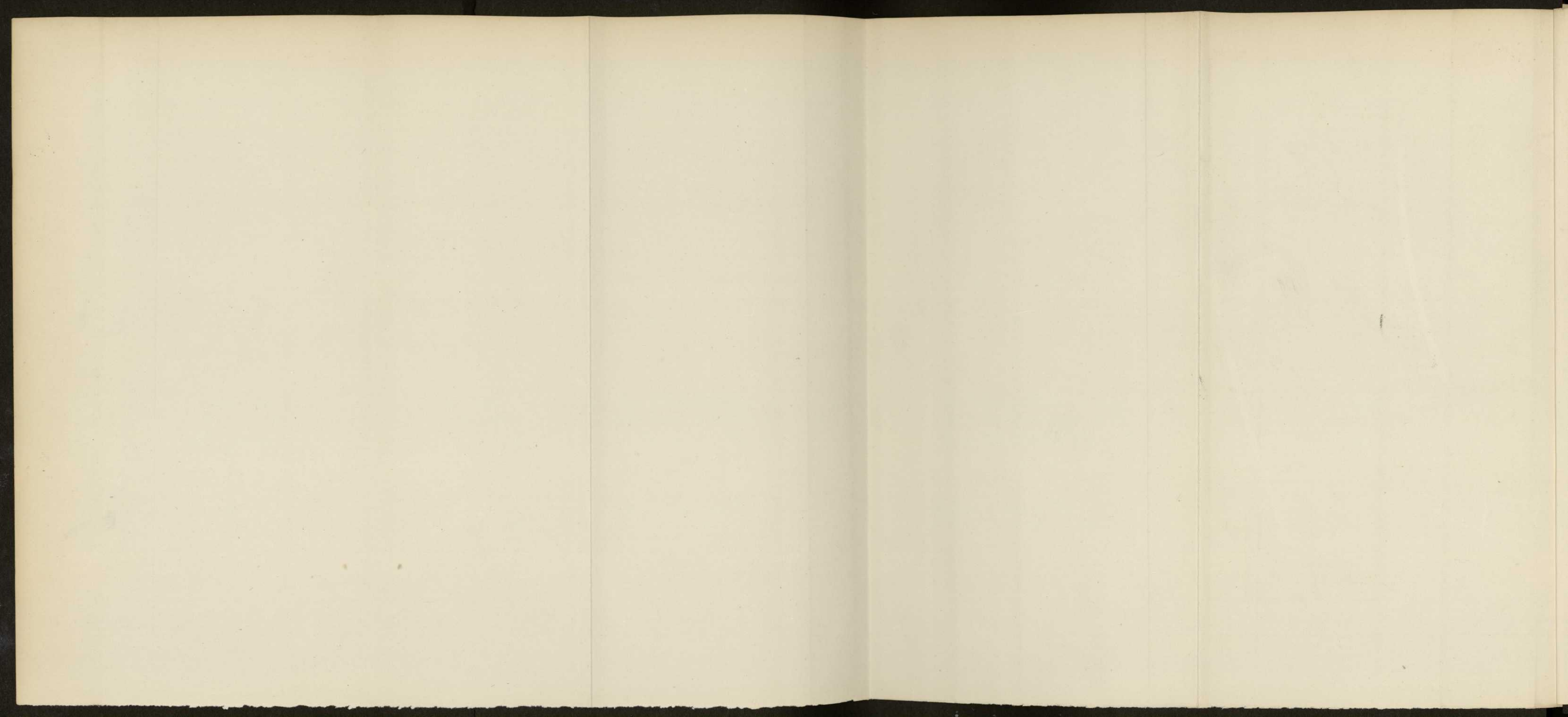
THE UNIVERSITY OF CHICAGO
THE UNIVERSITY OF CHICAGO
THE UNIVERSITY OF CHICAGO
THE UNIVERSITY OF CHICAGO
THE UNIVERSITY OF CHICAGO

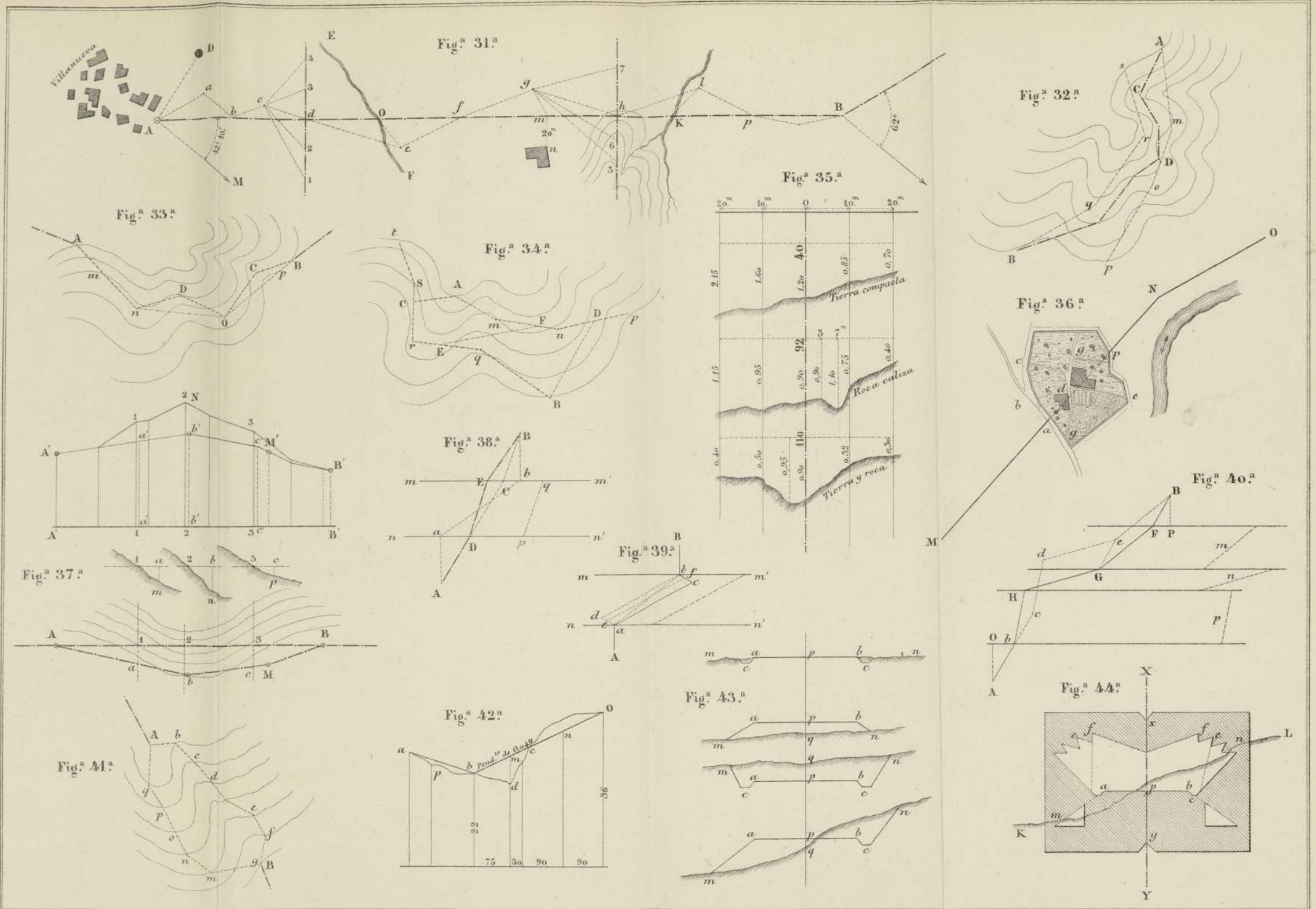
THE UNIVERSITY OF CHICAGO











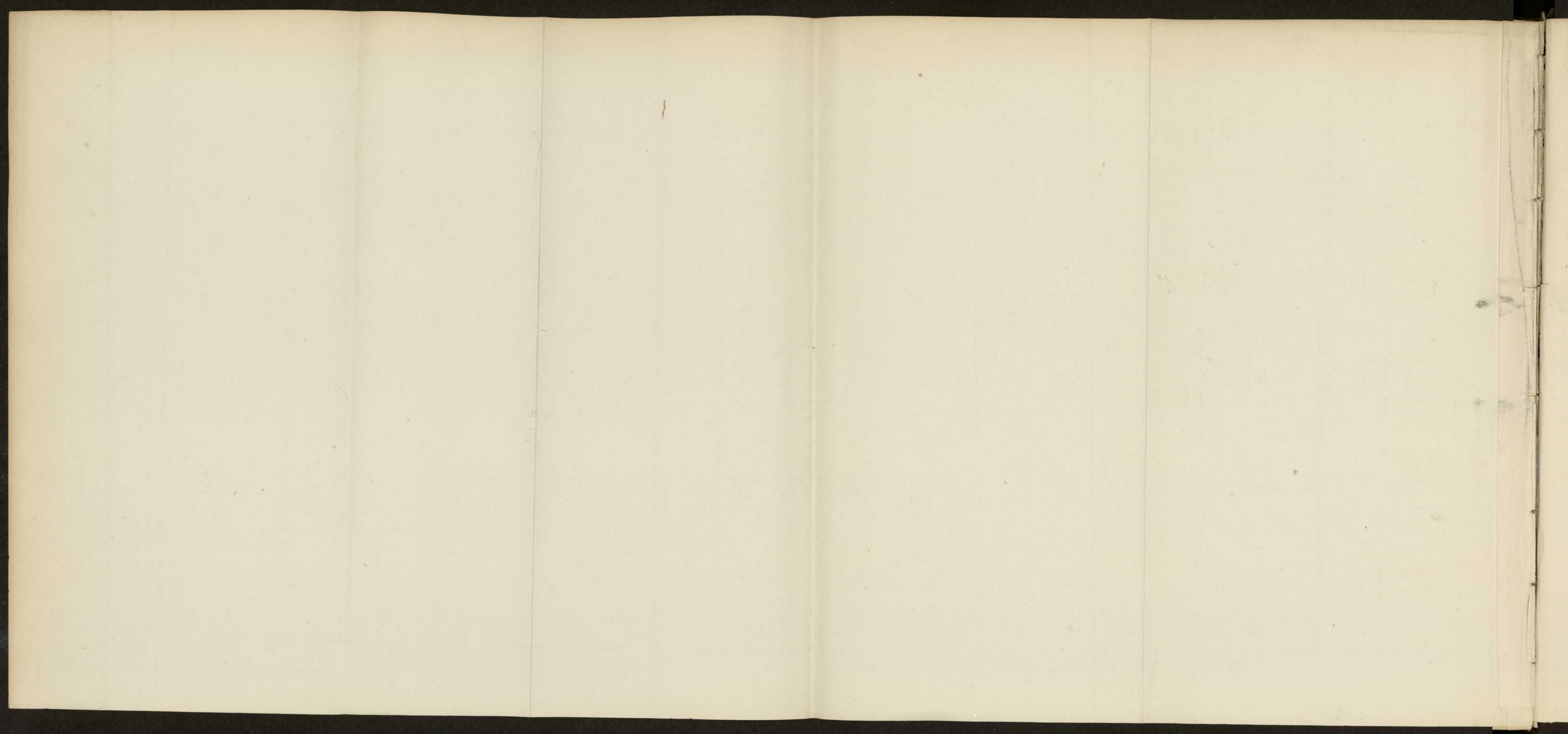
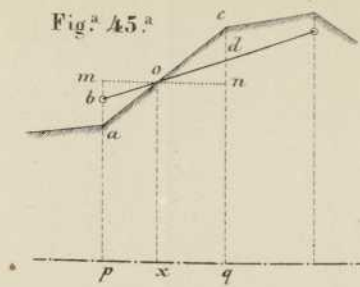
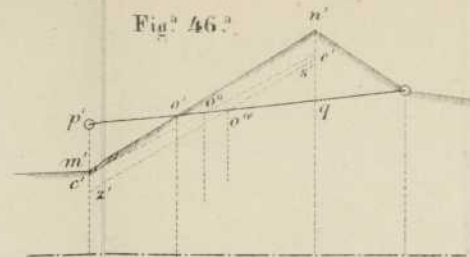
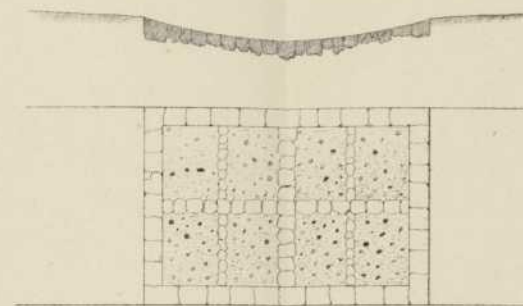
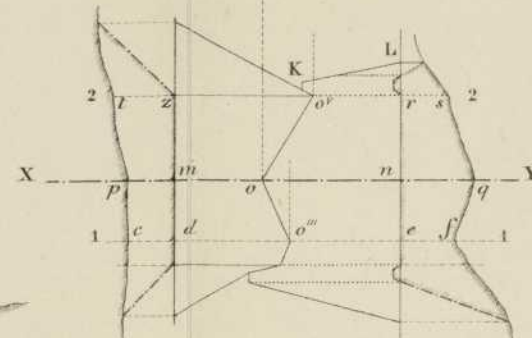
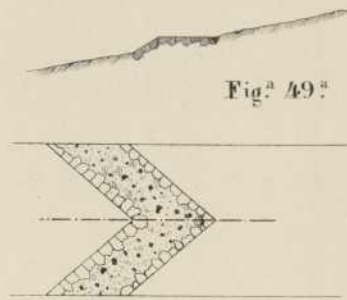
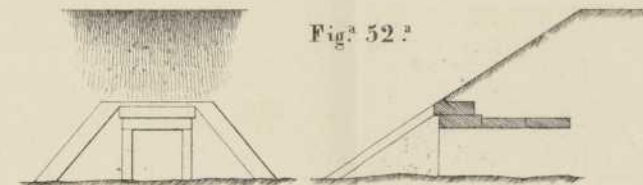
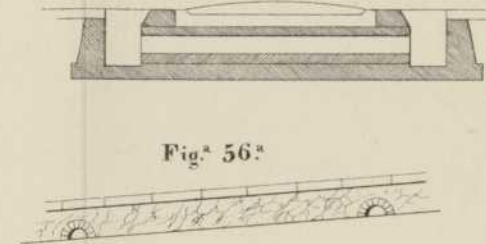
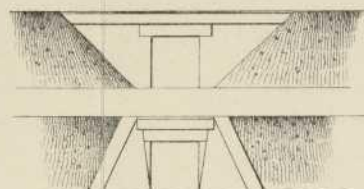
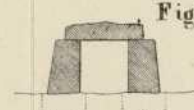
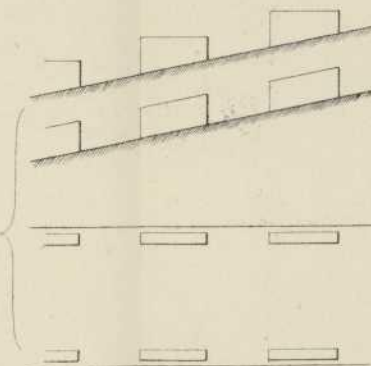
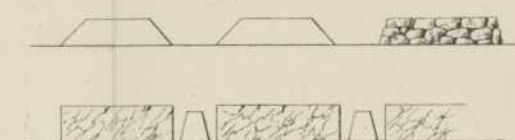
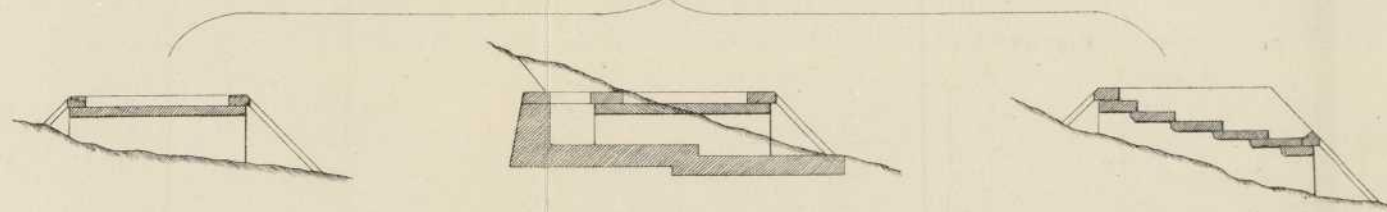
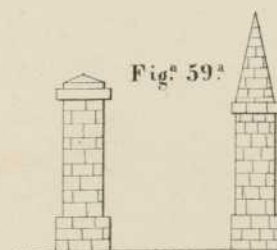
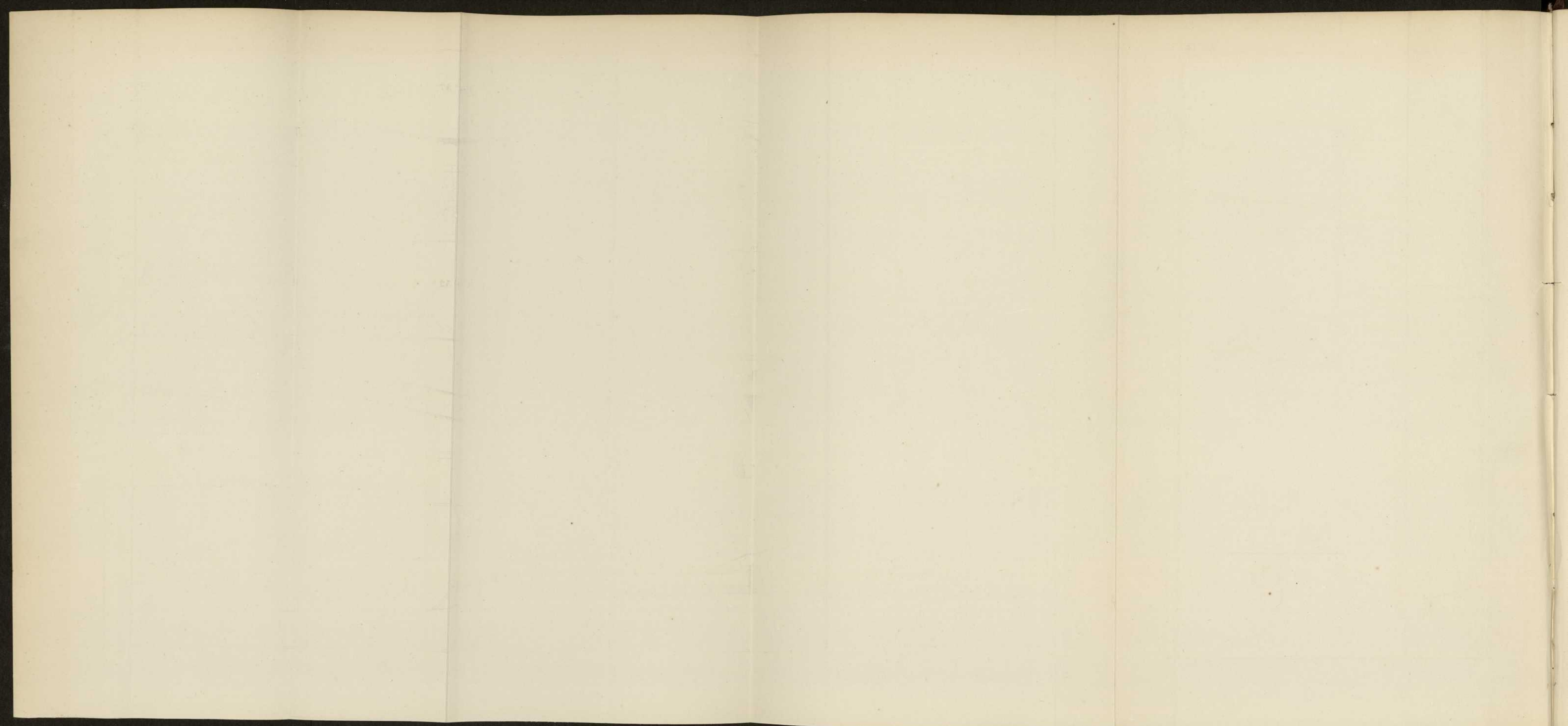
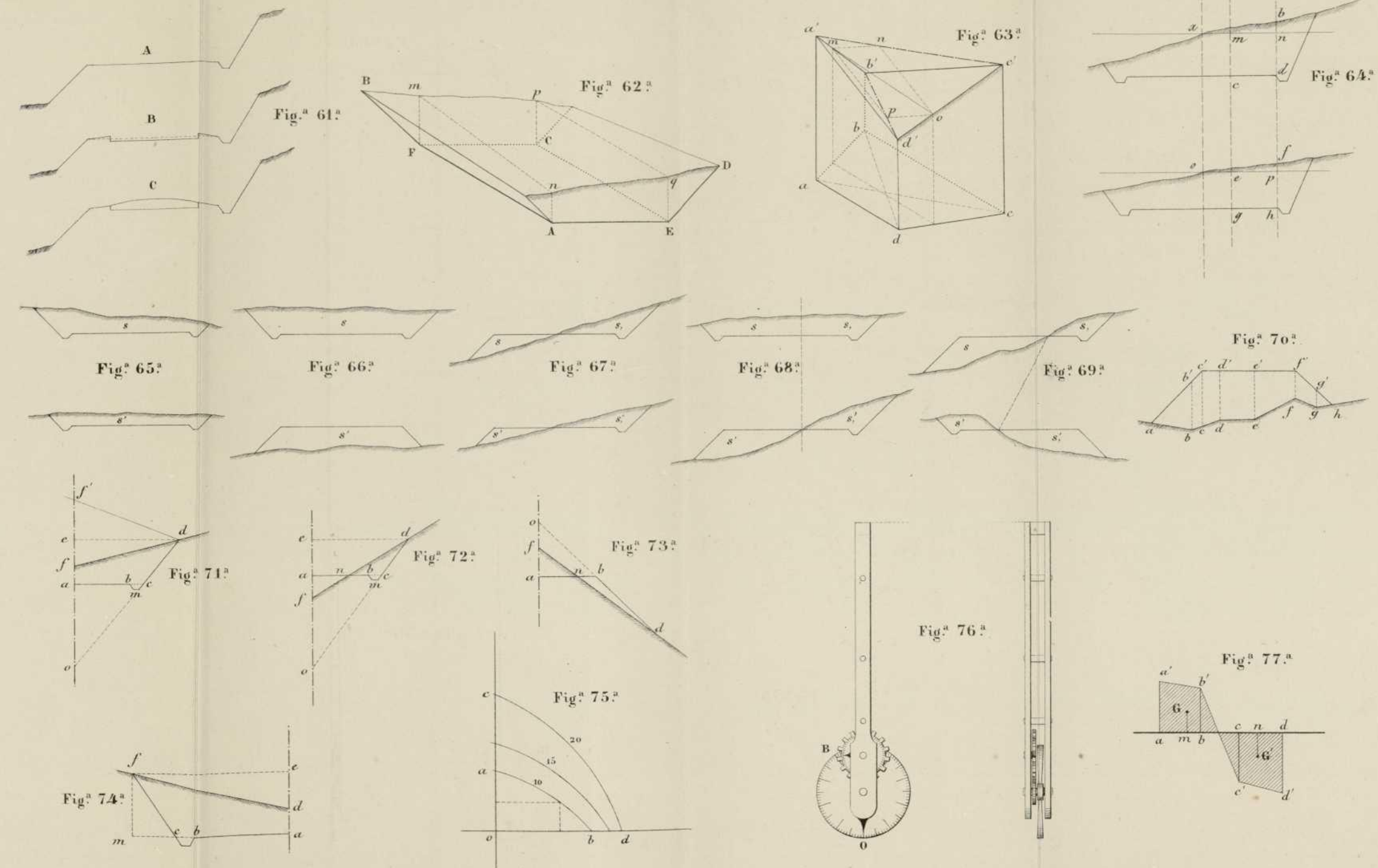
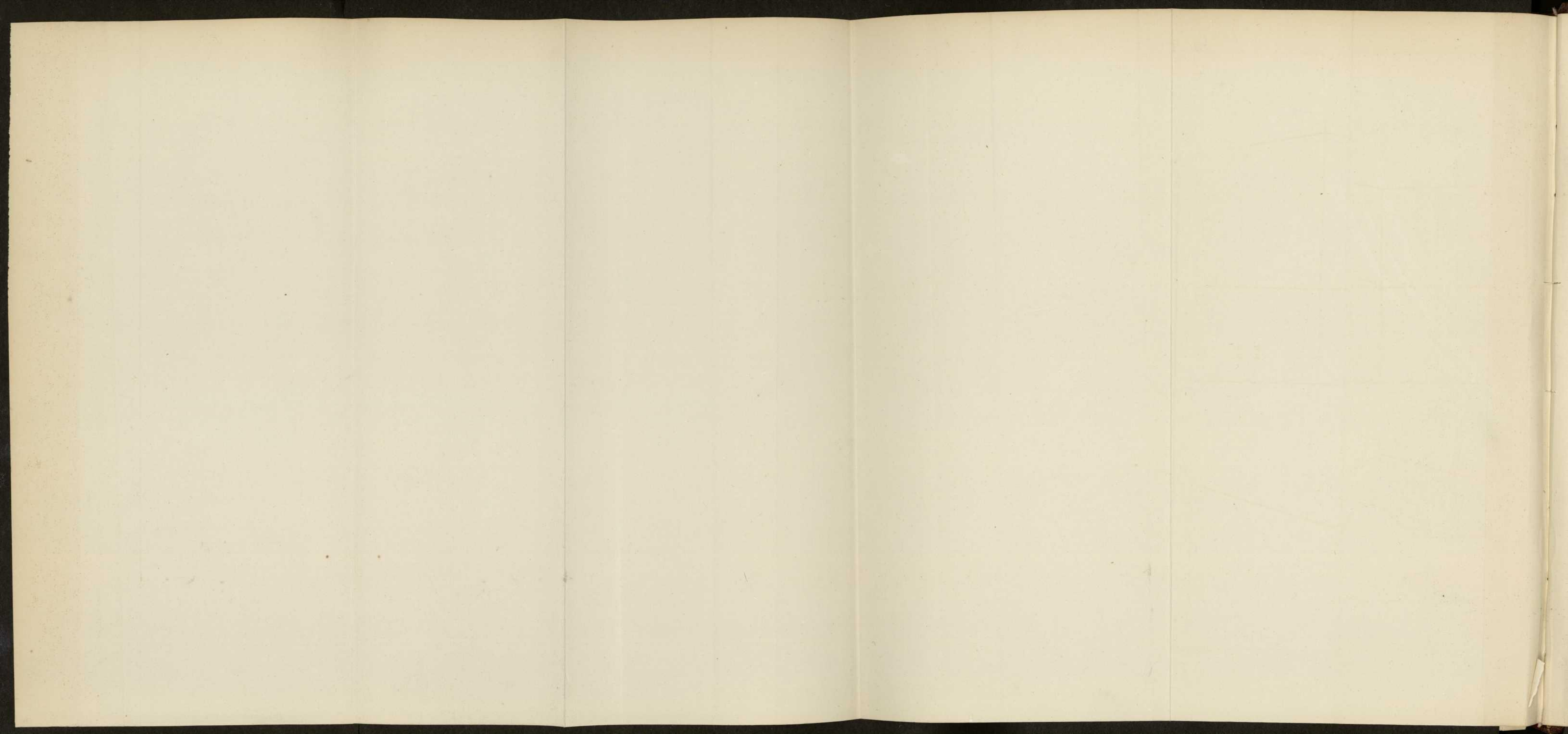
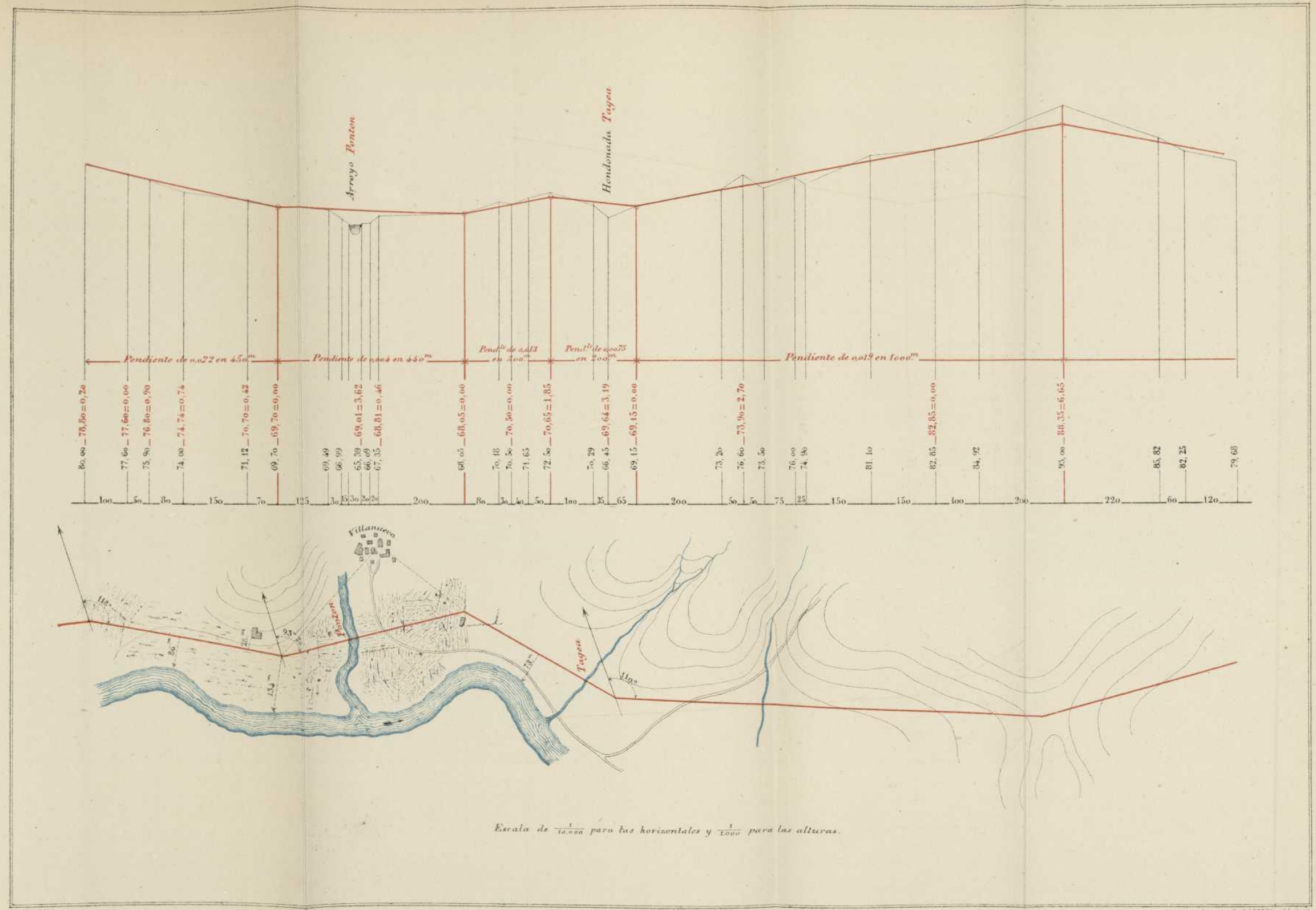


Fig.^a 45.^aFig.^a 46.^aFig.^a 47.^aFig.^a 48.^aFig.^a 49.^aFig.^a 52.^aFig.^a 56.^aFig.^a 50.^aFig.^a 51.^aFig.^a 55.^aFig.^a 57.^aFig.^a 58.^aFig.^a 54.^aFig.^a 59.^aFig.^a 60.^a

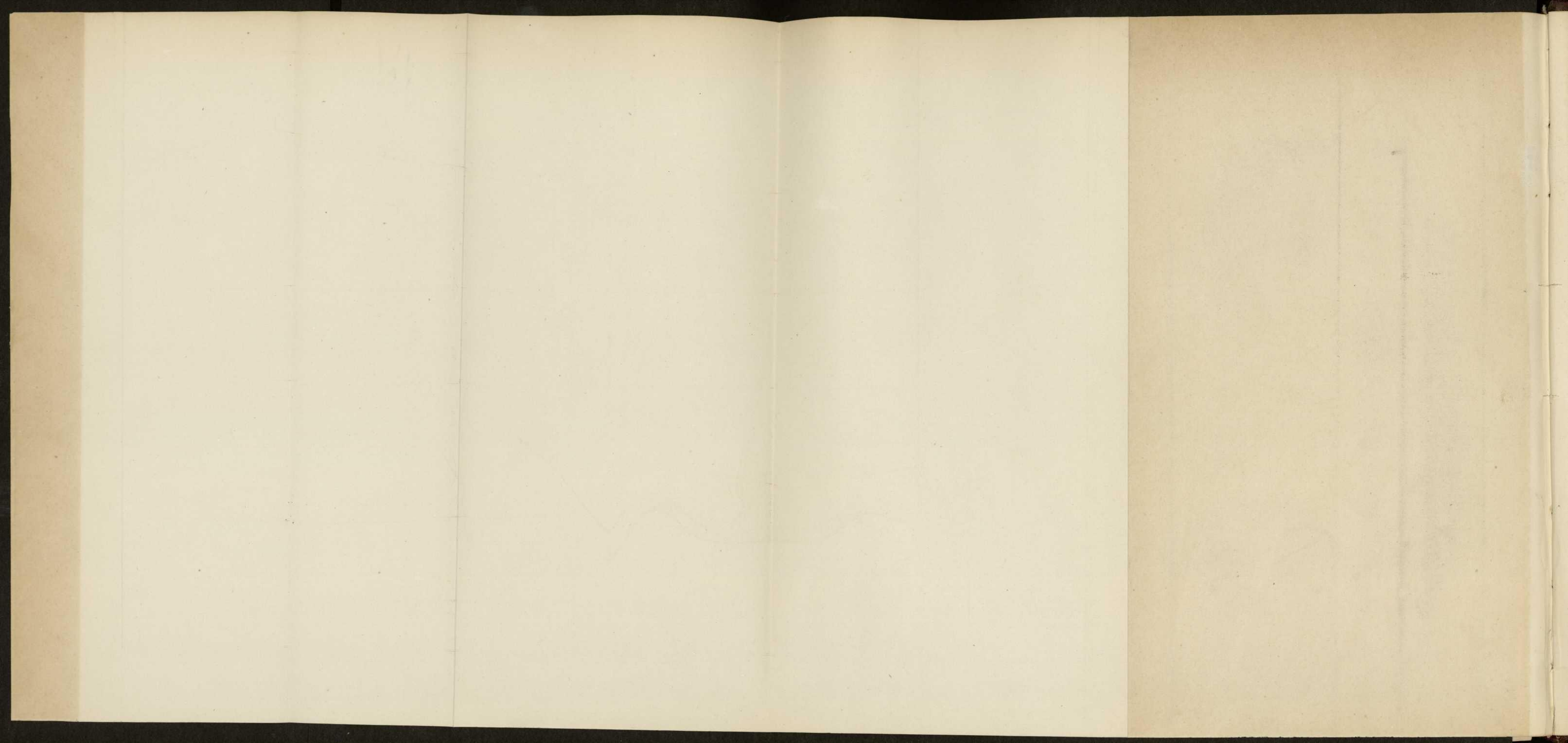


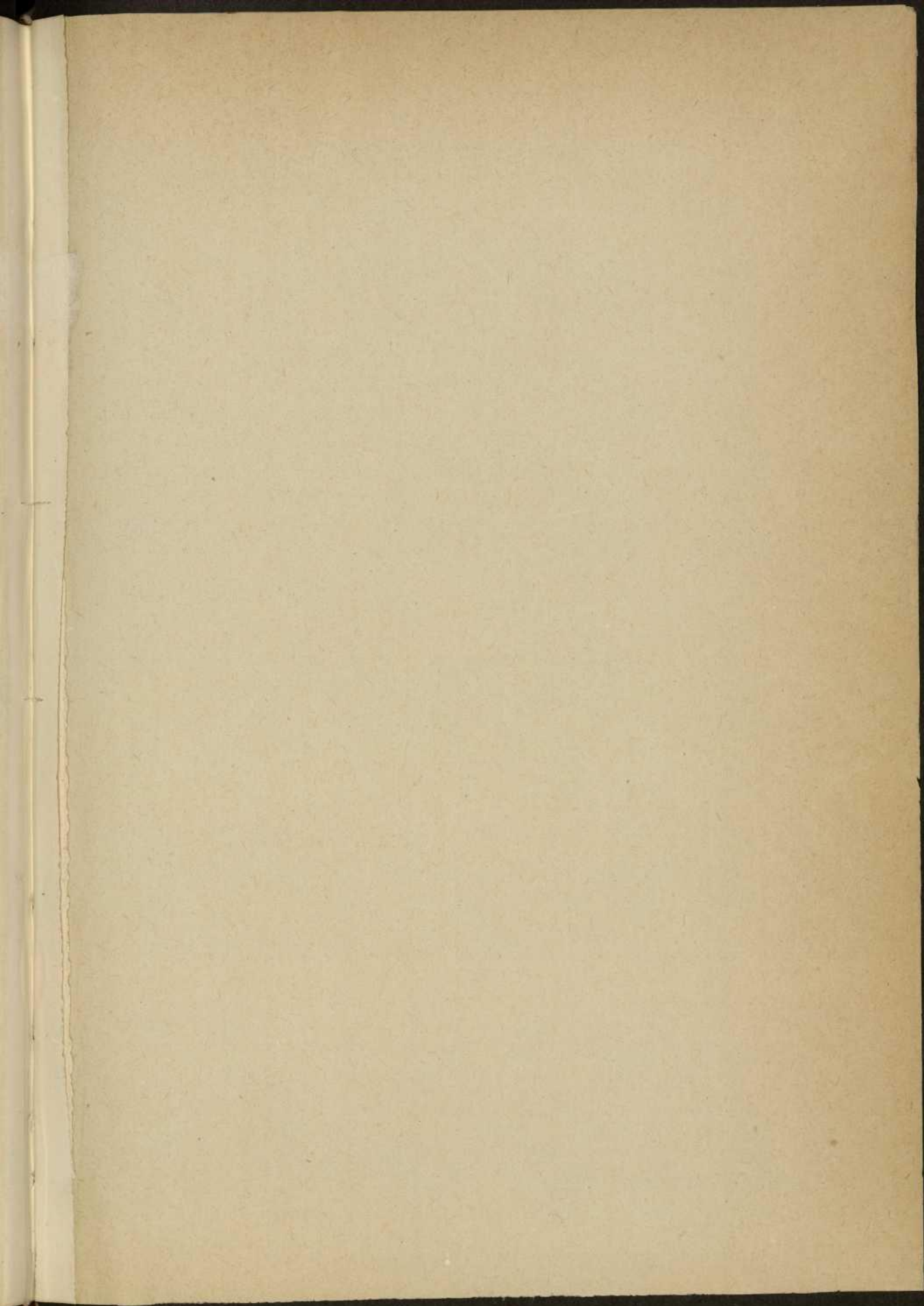


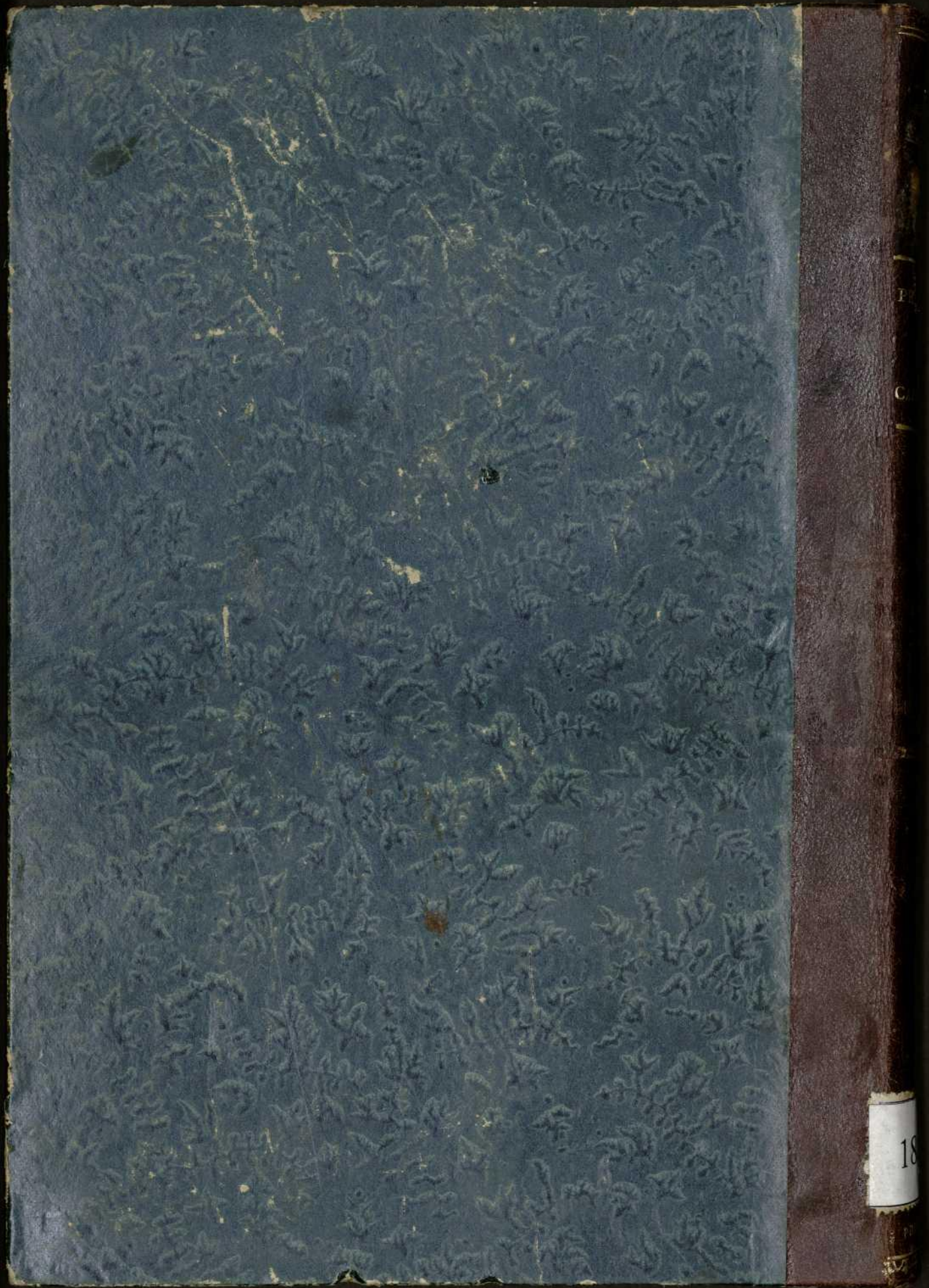




Escala de $\frac{1}{10,000}$ para las horizontales y $\frac{1}{1,000}$ para las alturas.







18

